Holzschnitte
aus dem xylographischen Atelier
von Friedrich Vieweg und Sohn
in Braunschweig.

Papier
aus der mechanischen Papier-Fabrik
der Gebrüder Vieweg zu Wendhausen
bei Braunschweig.

Müller=Pouillet's

Lehrbuch der Physik

und

Meteorologie.

Dritter Band.

Kosmische Physik

von

Dr. Joh. Müller,

Professor der Physik und Technologie an der Universität zu Freiburg
im Breisgau.

Die drei Bände enthalten 1685 in den Text eingedruckte Holzschnitte, 5 farbige und 3 schwarze Kupfertafeln, und einen Atlas von 27 Tafeln in Stahlstich.

Braunschweig,
Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn.
1856.

Lehrbuch

der

kosmischen Physik.

Von

Dr. Joh. Müller,
Professor der Physik und Technologie an der Universität zu Freiburg
im Breisgau.

Mit einem Atlas von 27 Tafeln in Stahlstich und 281 in den Text
eingedruckten Holzschnitten.

Braunschweig,
Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn.
1856.

Vorrede.

Wie überhaupt die Naturwissenschaften zu den wichtigsten Factoren der geistigen Entwickelung des Menschengeschlechtes gehören, so ist namentlich das Studium der kosmischen Erscheinungen geeignet, allgemeine Bildung zu fördern, geistige Belebung und Veredlung zu vermitteln. Es ist deshalb erfreulich, daß nicht allein der Sinn für einen edleren geistigen Naturgenuß sich mehr und mehr verbreitet, sondern daß auch, trotz so mancher Anfeindungen und Verdächtigungen, welche in neuester Zeit gegen die Naturwissenschaften und gegen den naturwissenschaftlichen Unterricht laut wurden, das Streben, sich von den Gesetzen zu unterrichten, welche die ganze Schöpfung beherrschen, mehr und mehr aus dem engeren Kreise der Fachgelehrten heraustritt, daß man, und zwar mit Recht, von den Gebildeten aller Stände eine Bekanntschaft mit den bedeutendsten Resultaten der Naturforschung sowohl als auch mit dem Geiste derselben verlangt.

In Deutschland ist es vorzugsweise Alexander v. Humboldt, welcher durch seine geistreichen Schriften die allgemeine Aufmerksamkeit auf die kosmischen Erscheinungen gelenkt und den Sinn für deren Studium geweckt und belebt hat; sein »Kosmos« namentlich hat einen ganz neuen Schwung in diesen Zweig unserer Literatur gebracht. — So mannigfaltig aber auch der Gegenstand jenes classischen Werkes behandelt worden ist, so fehlt es doch noch an einem Werke, in wel-

chem die Physik des Himmels und der Erdkugel in Form eines Lehrbuchs systematisch zusammengestellt ist, an einem Werke, welches außer der Astronomie, für welche es freilich nicht an trefflichen, mehr oder weniger populär gehaltenen Lehrbüchern fehlt, in gleicher Weise auch noch physikalische Geographie und Meteorologie umfaßt.

Diese Lücke auszufüllen ist der Zweck des vorliegenden »Lehrbuchs der kosmischen Physik«, welches ich insofern als ein populäres Werk bezeichnen muß, als dasselbe nur elementare Vorkenntnisse voraussetzt, und als alle in demselben vorkommenden mathematischen Entwickelungen nicht über das Bereich der Elementar-Mathematik hinausgehen. Der Standpunkt des Lesers, welcher in demselben vorausgesetzt wird, ist derselbe, welchen ich bei Abfassung meines größeren Lehrbuchs der Physik im Auge hatte, und ich habe hier wie dort im Wesentlichen dieselbe Entwickelungsmethode, dieselbe Darstellungsweise befolgt.

Um den Umfang dieses Buches nicht unnöthig auszudehnen, habe ich die wenigen zum Verständnisse nothwendigen mathematischen und physikalischen Vorkenntnisse nicht in dem Werke selbst entwickelt, wie dies bei den meisten Lehrbüchern der Astronomie gebräuchlich ist, sondern auf die entsprechenden Stellen mathematischer und physikalischer Lehrbücher verwiesen *). Solche Vorkenntnisse bringen wohl die meisten Leser schon aus einem guten Schulunterrichte mit; für den Fall aber, daß denselben das Eine oder das Andere entfallen, daß ihnen die mathematischen Sätze und physikalischen Thatsachen, von welchen gerade Gebrauch gemacht werden soll, nicht mehr in ihrem Zusammenhange gegenwärtig sein sollten, ist es doch wohl besser, sich aus selbstständigen Lehrbüchern der fraglichen Hülfswissenschaften Raths zu erholen, als sich mit nothdürftigen Schaltcapiteln zu behelfen, die ihren Zweck doch nur höchst unvollständig erfüllen.

Wenn das Studium der Disciplinen, welche in dem vorliegenden Werke vorgetragen werden, auch allgemein geistbildend wirken soll, so

---

*) Die Citate beziehen sich, wo nicht andere Werke namentlich angegeben sind, auf die vierte Auflage meines »Lehrbuchs der Physik und Meteorologie«, Braunschweig 1852, und auf meine »Elemente der ebenen und sphärischen Trigonometrie«, Braunschweig 1844, in welchen der Leser auf wenigen Bogen die Grundzüge dieser wichtigen Disciplinen leicht faßlich entwickelt findet.

genügt es nicht, den strebsamen Leser mit den Resultaten der wissenschaftlichen Forschung bekannt zu machen, ihm die Gesetze darzulegen, welche durch den Fleiß und den Scharfsinn der Astronomen und Naturforscher nachgewiesen worden sind; man muß ihm auch den Zusammenhang zwischen der unmittelbaren Anschauung und den Gesetzen zeigen, welche aus den Beobachtungen abgeleitet worden sind; der Leser muß eine Einsicht in die Art und Weise erlangen, wie die Gesetze entwickelt werden, damit er einen Maßstab habe für die Würdigung derselben, damit er das fest begründete Gesetz unterscheiden lerne von der schwankenden Hypothese, das Nothwendige von dem Willkürlichen, die Thatsache von der Vorstellung; selbst auch populäre Schriften (im besseren Sinne des Wortes) müssen den Leser in den Geist der wahren naturwissenschaftlichen inductiven Methode einführen. Es war mein eifrigstes Streben, bei Abfassung dieser »kosmischen Physik« diese Aufgabe nach Kräften zu lösen.

Am schwierigsten ist die elementare Behandlung im astronomischen Theile durchzuführen. Hier nun war ich bemüht, so weit als möglich den Gang der Erscheinungen durch Beispiele zu erläutern, welche entweder von wirklich angestellten Beobachtungen, oder aus astronomischen Jahrbüchern entnommen sind, weil an concreten Beispielen am leichtesten eine lebendige und klare Anschauung gewonnen wird. Da wo allgemeine Entwickelungen die Kräfte der Elementar-Mathematik überschritten haben würden, habe ich, wenigstens für specielle Fälle, durch numerische Berechnungen den Zusammenhang verständlich zu machen gesucht.

Da sich der naturwissenschaftliche Unterricht vor allen Dingen auf Anschauung gründen muß, da namentlich in Werken, welche auch zum Selbstunterrichte dienen sollen, dieser Punkt ganz besonders zu berücksichtigen ist, so habe ich auf die Abbildungen eine ganz besondere Aufmerksamkeit und Mühe verwendet, und die Verlagshandlung hat keine Opfer gescheut, dies Bestreben in jeder Beziehung auf das Kräftigste zu unterstützen, wie schon ein oberflächlicher Anblick der in den Text eingedruckten Holzschnitte sowohl, als auch der zu einem Atlas verbundenen Stahlstiche zeigt. Für schwierig zu zeichnende Apparate habe ich mit Erfolg die Photographie in Anwendung gebracht. — Auf den Karten des Atlasses habe ich möglichst jede Ueberladung auf einem Blatte zu vermeiden gesucht. Weil das Bild des gestirnten Himmels durch Begränzung der Sternbilder und durch Eintragen der

Namen gestört wird, so sind in dem Atlas zweierlei Sternkarten gegeben; einmal solche, welche das Bild des gestirnten Himmels möglichst treu wiedergeben, und dann solche, in welchen man die Abtheilung der Sternbilder, die Namen u. s. w. findet. Auf einer besonderen Tafel sind die wahren Bahnen der unteren, auf einer anderen die wahren Bahnen der oberen Planeten gegeben, und den Kometenbahnen sind zwei Tafeln gewidmet, weil die Vereinigung aller Planetenbahnen sammt den Bahnen der wiederkehrenden Kometen alle Uebersichtlichkeit zerstört hätte. Ebenso habe ich lieber die Anzahl der Erdkarten vermehrt und auf jede derselben immer nur ein einziges Curvensystem aufgetragen, damit dasselbe dem Leser auf den ersten Blick klar und verständlich sei, und er nicht nöthig habe, mit Mühe den Verlauf einer Linie in dem Chaos anderer Curven zu verfolgen, wie es unvermeidlich ist, wenn man mehrere Curvensysteme auf derselben Tafel vereinigt.

Die zahlreichen Abbildungen aller Art tragen so sehr zum leichteren Verständniß der vorgetragenen Materien bei, sie erleichtern so sehr das Studium derselben, und sind deshalb auch so sehr im Interesse des Lesers, daß von dieser Seite wohl schwerlich der Vorwurf eines unnöthigen Luxus zu fürchten ist.

Da ein Werk wie das vorliegende nicht allein zur Lectüre, sondern auch zum Nachschlagen dienen soll, so muß man es dem Leser möglichst erleichtern, sich darin zurecht zu finden. Ich habe deshalb dem Buche zwei Register beigegeben, ein systematisches, aus welchem man die Ordnung übersehen kann, in welcher die einzelnen Materien behandelt worden sind, und ein alphabetisches, aus welchem man erfährt, wo man nachzuschlagen hat, um über bestimmte Gegenstände Auskunft zu erhalten.

Ich habe das Buch mit Fleiß und Sorgfalt, mit Lust und Liebe ausgearbeitet. Möge es dazu beitragen, den Naturwissenschaften Freunde zu gewinnen und all das Gute zu fördern, was mit ihrer Cultur und Verbreitung verbunden ist.

Freiburg, im Januar 1856.

Dr. J. Müller.

Inhaltsverzeichniß.

Drittes Capitel.

Die Sonne und die Beziehungen der Erde zu derselben.

Viertes Capitel.

Die Planeten.

Fünftes Capitel.

Die Satelliten.

Sechstes Capitel.

Die Kometen.

Siebentes Capitel.

Die allgemeine Schwere.

Achtes Capitel.

Ortsveränderungen der Fixsterne.

Zweites Buch.

Kosmische und atmosphärische Lichterscheinungen.

Erstes Capitel.

Das Licht der Himmelskörper und seine Verbreitung im Weltraume.

Zweites Capitel.

Erscheinungen, welche durch Brechung und Spiegelung des Lichtes in der Atmosphäre bewirkt werden.

Drittes Buch.

Die calorischen Erscheinungen auf der Erdoberfläche und in der Atmosphäre.

Erstes Capitel.

Verbreitung der Wärme auf der Erde.

Zweites Capitel.

Das Luftmeer, sein Druck und seine Strömungen.

Drittes Capitel.

Die Hydrometeore.

Viertes Buch.

Die elektrischen und magnetischen Erscheinungen auf der Erdoberfläche.

Erstes Capitel.

Atmosphärische Elektricität.

Zweites Capitel.

Der Erdmagnetismus.

Einleitung.

Es ist die Aufgabe der Experimentalphysik, die Naturkräfte kennen zu lehren und die Gesetze zu erforschen, nach welchen sie wirken; ihren Namen hat die genannte Wissenschaft daher, weil man das eben angedeutete Ziel vorzugsweise durch Versuche, durch Experimente zu erreichen sucht.

Für die Experimentalphysik ist die Erkenntniß der Naturgesetze an und für sich die Hauptsache. Wie sich mit Hülfe dieser Gesetze die Naturerscheinungen im Großen erklären lassen, kann in dem Vortrag derselben wohl hier und dort als erläuterndes Beispiel besprochen werden, aber eine auch nur einigermaßen vollständige Durchführung nach dieser Seite hin würde der Physik im engeren Sinne des Wortes (das, was man eben gewöhnlich Experimentalphysik zu nennen pflegt) eine übermäßige, die Uebersicht nur erschwerende Ausdehnung geben.

In der Physik lernen wir das Gesetz der Trägheit und die allgemeinen Gesetze der Bewegung kennen, wie sie durch irgend welche beschleunigenden Kräfte unter dem Einfluß der Trägheit zu Stande kommen; die Bewegungserscheinungen der Himmelskörper aber und ihre mechanische Erklärung gehört der Astronomie an.

Die Experimentalphysik lehrt uns, wie sich die Luft unter dem Einflusse der Wärme ausdehnt und wie die erwärmte Luft in Folge ihres geringeren specifischen Gewichtes aufsteigt; wie aber aus der ungleichen Erwärmung der Luftmassen, welche unsere Erdkugel einhüllen, die Winde entstehen, wie sich die Windverhältnisse verschiedener Gegenden gestalten, wie der Passatwind in der Nähe der Wendekreise und wie das Gesetz der Winddrehung in höherer Breite zu erklären sei, kann in der Experimentalphysik selbst nicht erörtert werden, die Untersuchung dieser Gegenstände gehört einem besonderen Zweige der physikalischen Wissenschaften, der Meteorologie an.

Ebenso behandelt die Meteorologie die Wolken- und Nebelbildung, den Regen, die Thaubildung u. s. w., während die Experimentalphysik die Grundlage zur Erklärung dieser Phänomene liefert, nämlich die Gesetze der Dampfbildung, der Condensation des Wasserdampfes und die Gesetze der strahlenden Wärme.

Eine ausführliche Betrachtung der meteorologischen und astronomischen Erscheinungen kann der Experimentalphysik ebensowenig einverleibt werden, als eine specielle Besprechung der technischen Anwendung physikalischer Gesetze.

Wie man reine und angewandte Mathematik unterscheidet, so könnte man auch reine und angewandte Physik unterscheiden; die kosmische und die technische Physik sind wohl die wichtigsten Zweige der letzteren.

Die kosmische Physik, welche die Astronomie und die Meteorologie umfaßt, soll die Naturerscheinungen im Großen verfolgen und sie, so weit als möglich, auf physikalische Gesetze zurückführen; — sie hat also zu zeigen, wie dieselben Kräfte, welche die Experimentalphysik uns kennen lehrt, in der ganzen Schöpfung zur Wirkung kommen, wie dieselben Gesetze, die wir im physikalischen Cabinet erforschen, das ganze Weltall beherrschen.

Da also die kosmische Physik gleichsam eine Anwendung der Physik zur Erklärung der Erscheinungen ist, welche wir in den Himmelsräumen und auf der Erdoberfläche beobachten, so werden auch die einzelnen Abschnitte, in welche sie zerfällt, den Hauptabtheilungen der Experimentalphysik: Mechanik, Optik, Wärme und Elektricität, entsprechen; das vorliegende Werk besteht demnach aus vier Büchern, deren Inhalt in Kürze folgender ist:

Das erste Buch bespricht die Bewegungserscheinungen der Himmelskörper und ihre mechanische Erklärung.

Das zweite Buch behandelt die kosmischen und atmosphärischen Lichterscheinungen.

Das dritte Buch beschäftigt sich mit den calorischen Erscheinungen auf der Erdoberfläche und in der Atmosphäre.

Den Gegenstand des vierten Buches endlich bilden die Erscheinungen der Luftelektricität und des Erdmagnetismus.

Erstes Buch.

Bewegungserscheinungen der Himmelskörper und ihre mechanische Erklärung.

Erstes Capitel.

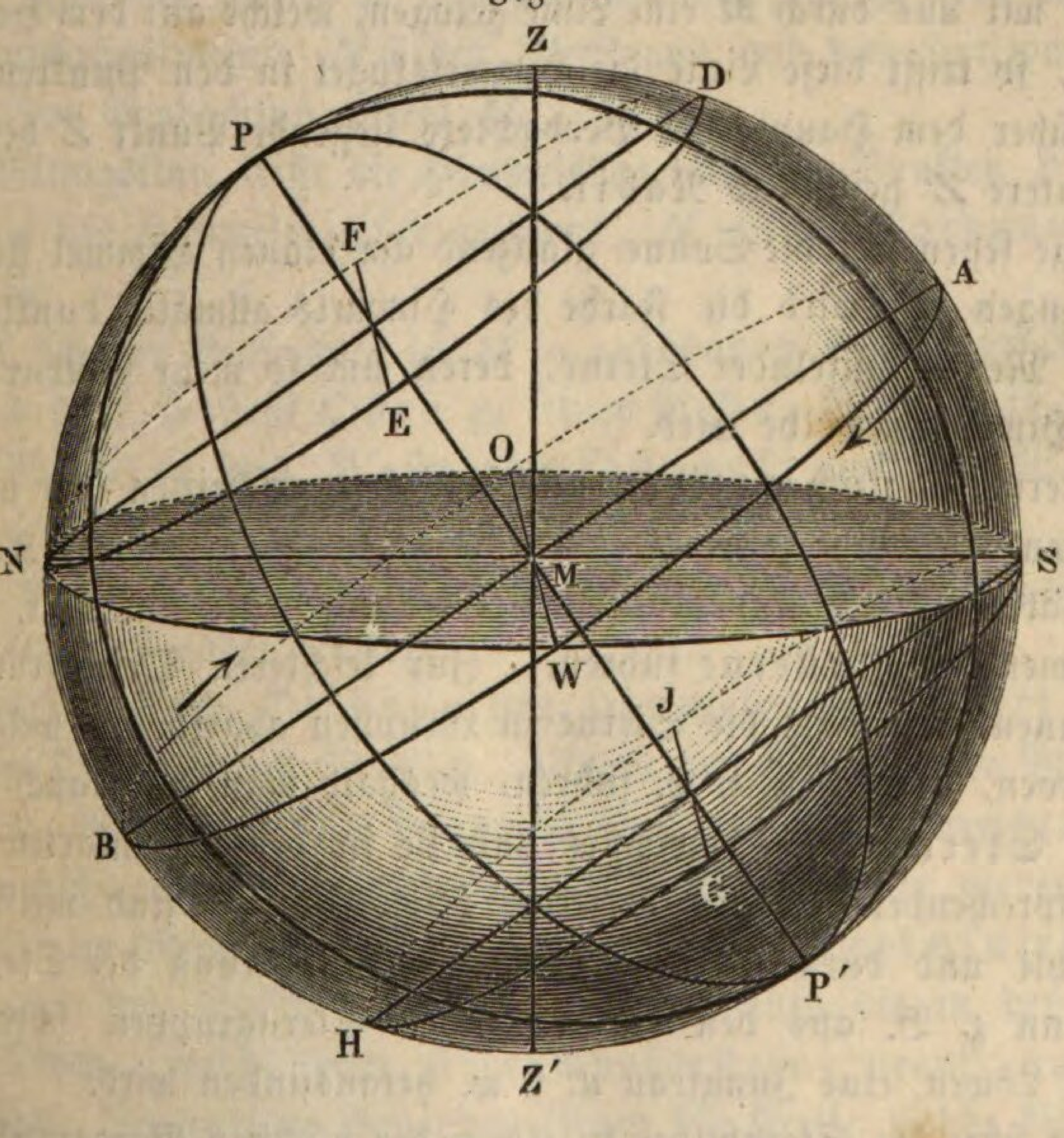
Der Fixsternhimmel und seine tägliche Bewegung.

Das Himmelsgewölbe. Der Himmel erscheint uns, wenn er nicht 1
durch Wolken verdeckt ist, als eine ungeheure Hohlkugel, von welcher wir jedoch nie mehr als die Hälfte auf einmal übersehen können. In einer ganz flachen Gegend oder auf dem Meere erscheint uns die Oberfläche der Erde als eine Ebene, welche von der sichtbaren Hälfte der Himmelskugel überwölbt ist. Wir befinden uns scheinbar in der Mitte dieser Ebene und in dem Mittelpunkte des Himmelsgewölbes.

Die durch das Auge des Beobachters gelegte wagerechte Ebene, welche die sichtbare Hälfte der Himmelskugel von der unsichtbaren scheidet, heißt der Horizont.

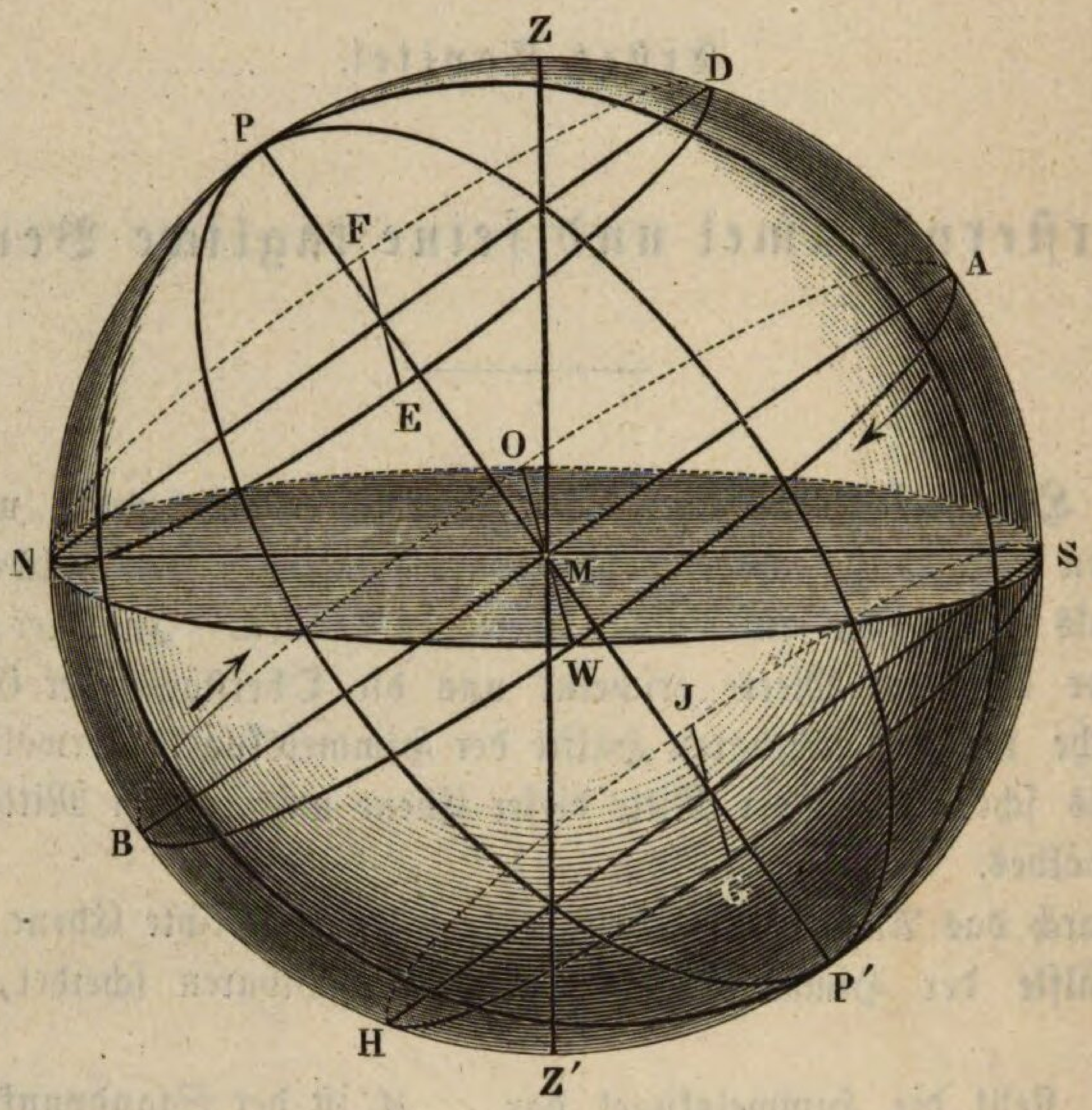
Fig. 1 stellt die Himmelskugel dar. *M* ist der Standpunkt des Beob-

Fig. 1.



achters, der Mittelpunkt der Hohlkugel. — *NOSW* ist die durch den Mittelpunkt *M* gelegte Horizontalebene. Die obere Hälfte der Kugel sei die sichtbare, die untere die unsichtbare Hemisphäre des Himmels.

Fig. 2.



Denken wir uns durch *M* eine Linie gezogen, welche auf dem Horizont rechtwinklig steht, so trifft diese Linie die Himmelskugel in den Punkten *Z* und *Z'*. Der gerade über dem Haupte des Beobachters liegende Punkt *Z* heißt das Zenith, der untere *Z'* heißt das Nadir.

Bei Tage sehen wir die Sonne glänzend am blauen Himmel stehen; sobald sie untergegangen ist, wird die Farbe des Himmels allmälig dunkler und nun erscheint eine Menge funkelnder Sterne, deren um so mehr sichtbar werden, je dunkler das Himmelsgewölbe wird.

Die Sterne, ungleich an Glanz und Helligkeit, erscheinen uns unregelmäßig über das Himmelsgewölbe zerstreut. Die wenigen Planeten und Kometen ausgenommen, haben sie eine unveränderliche Stellung gegen einander, weshalb sie auch den Namen der Fixsterne führen. Zur leichteren Orientirung hat man schon im grauen Alterthum die Sterne in Gruppen abgetheilt, welche die Namen von Heroen, Thieren u. s. w. führen, weshalb man denn auch jene Sterngruppen als Sternbilder bezeichnet und sie in den Sternkarten gewöhnlich mit den entsprechenden Figuren bedeckt. Diese Figuren sind meist ganz willkürlich gewählt und durchaus nicht durch die Gruppirung der Sterne bedingt, wie man denn z. B. aus den entsprechenden Sterngruppen schwerlich einen Bären, einen Löwen, eine Jungfrau u. s. w. herausfinden wird.

Näheres über die Sternbilder in einem der nächsten Paragraphen.

Tägliche Bewegung der Gestirne. Obgleich die gegenseitige Stellung der Fixsterne unter einander eine unveränderliche ist, so ändert sich doch beständig ihre Stellung gegen die Erdoberfläche, wovon man sich leicht überzeugen kann, wenn man, ohne seinen Beobachtungsort zu ändern, nur etwa eine halbe Stunde lang die Stellung irgend eines Sternes gegen eine Bergspitze, einen Thurm oder sonst einen festen Punkt auf der Erdoberfläche beobachtet. 2

Weit auffallender als mit bloßem Auge erscheint die eigene Bewegung der Gestirne, wenn man sie durch stark vergrößernde Fernröhre betrachtet. In kurzer Zeit hat der Stern das Gesichtsfeld des Fernrohres durchwandert.

Diese allen Fixsternen gemeinschaftliche Bewegung ist nun von der Art, daß es scheint, als drehe sich die ganze Himmelskugel sammt allen Sternen in je 24 Stunden um eine feste Axe, welche den Namen der Weltaxe führt.

Im mittleren Deutschland macht diese Weltaxe PF' (Fig. 2) einen Winkel von 50^0 mit dem Horizont. Die Punkte P und P', in welchen die Weltaxe das Himmelsgewölbe trifft, sind die Pole des Himmels. Der in Deutschland sichtbare Himmelspol P ist der Nordpol des Himmels.

Eine rechtwinklig auf die Weltaxe durch den Punkt M gelegte Ebene $AWBO$ ist der Himmelsäquator. Mit demselben Namen des Himmelsäquators bezeichnet man aber nicht allein die genannte Ebene, sondern oft auch die Kreislinie, in welcher die Aequatorebene das Himmelsgewölbe schneidet.

Der Aequator theilt die Himmelskugel in eine nördliche und eine südliche Hemisphäre.

Denken wir uns senkrecht zur Ebene des Horizonts durch den Nordpol des Himmels P und das Zenith Z eine Ebene gelegt, so ist dies der Meridian, und die Durchschnittslinie NS des Meridians mit dem Horizont ist die Mittagslinie des Beobachtungsortes M.

Die Mittagslinie trifft die Himmelskugel in den Punkten N und S. Der dem Nordpol des Himmels näher gelegene, N, ist der Nordpunkt, S ist der Südpunkt.

Stellt sich der Beobachter in M so auf, daß er Norden im Rücken, Süden aber vor sich hat, so liegt Osten zu seiner Linken, Westen zu seiner Rechten.

Die Punkte O und W sind der Ostpunkt und der Westpunkt des Himmels.

Nach diesen Definitionen können wir nun die Gesetze der täglichen Bewegung des Himmels näher erörtern.

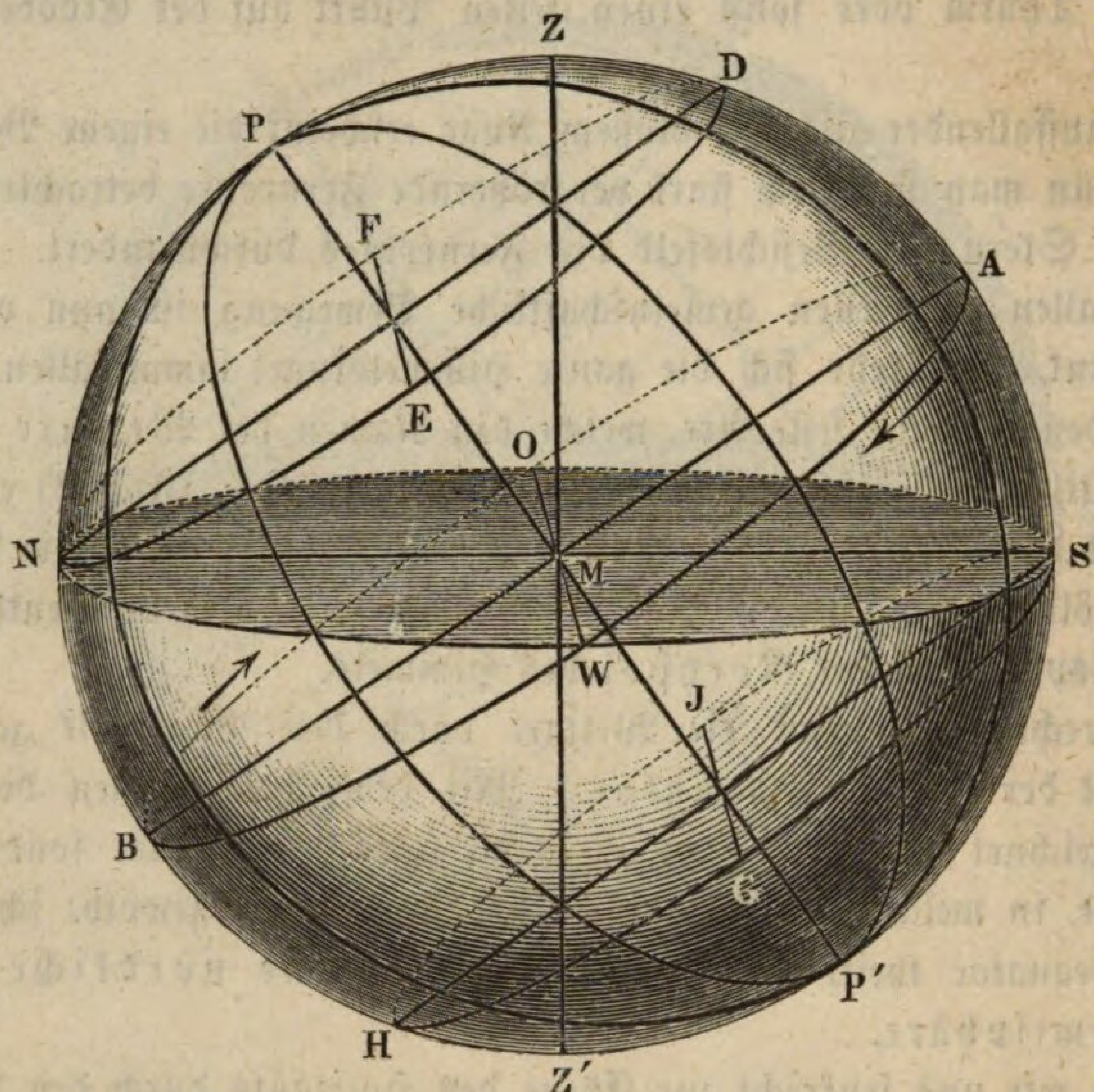
Die scheinbare Drehung der Himmelskugel findet in der Richtung von Osten nach Westen, also in der Richtung der Pfeile in unserer Figur, Statt. Auf der Ostseite steigen die Gestirne auf, sie erreichen im Meridian ihre größte Höhe und gehen dann auf der Westseite wieder nieder. Wenn ein Stern gerade im Meridian steht, so sagt man, daß er culminirt.

Während der täglichen Umdrehung beschreiben die in der Nähe von P liegenden Sterne, welche man Circumpolarsterne nennt, nur kleine Kreise um denselben. In unseren Gegenden liegen die Kreise, welche die Circumpolar-

sterne beschreiben, ganz über dem Horizont; diese Sterne gehen also nicht auf und nicht unter.

Ein 50° vom Nordpol rechtwinklig auf die Weltaxe stehender Kreis *DENF*, Fig. 3, schneidet denjenigen Theil des Himmels ab, dessen Sterne im

Fig. 3.



mittleren Deutschland stets über dem Horizont bleiben. Diesem Kreis entsprechend ist auf der Südhälfte der Himmelskugel ein Kreis *SGHJ* gezogen, welcher den bei uns stets unsichtbaren Theil des Himmels abschneidet.

Diejenigen Sterne, welche beständig über dem Horizont bleiben, passiren während 24 Stunden zweimal den Meridian, einmal wenn sie auf der Ostseite des Himmels aufsteigend ihren höchsten Punkt erreicht haben, und dann, wenn sie nach ihrem Niedergang auf der Westseite des Himmels in ihrer tiefsten Stellung angekommen sind.

Die Circumpolarsterne haben also eine sichtbare obere und eine sichtbare untere Culmination.

Alle Sterne, welche sich auf der durch die Kreise *DENF* und *SGHJ* begränzten Zone befinden, beschreiben Bahnen, welche theils oberhalb, theils unterhalb des Horizontes liegen; alle auf dieser Zone liegenden Sterne gehen also auf und unter. Derjenige Theil einer Sternbahn, welcher über dem Horizont liegt, heißt der Tagbogen, der unterhalb des Horizontes liegende Theil dagegen ist der Nachtbogen.

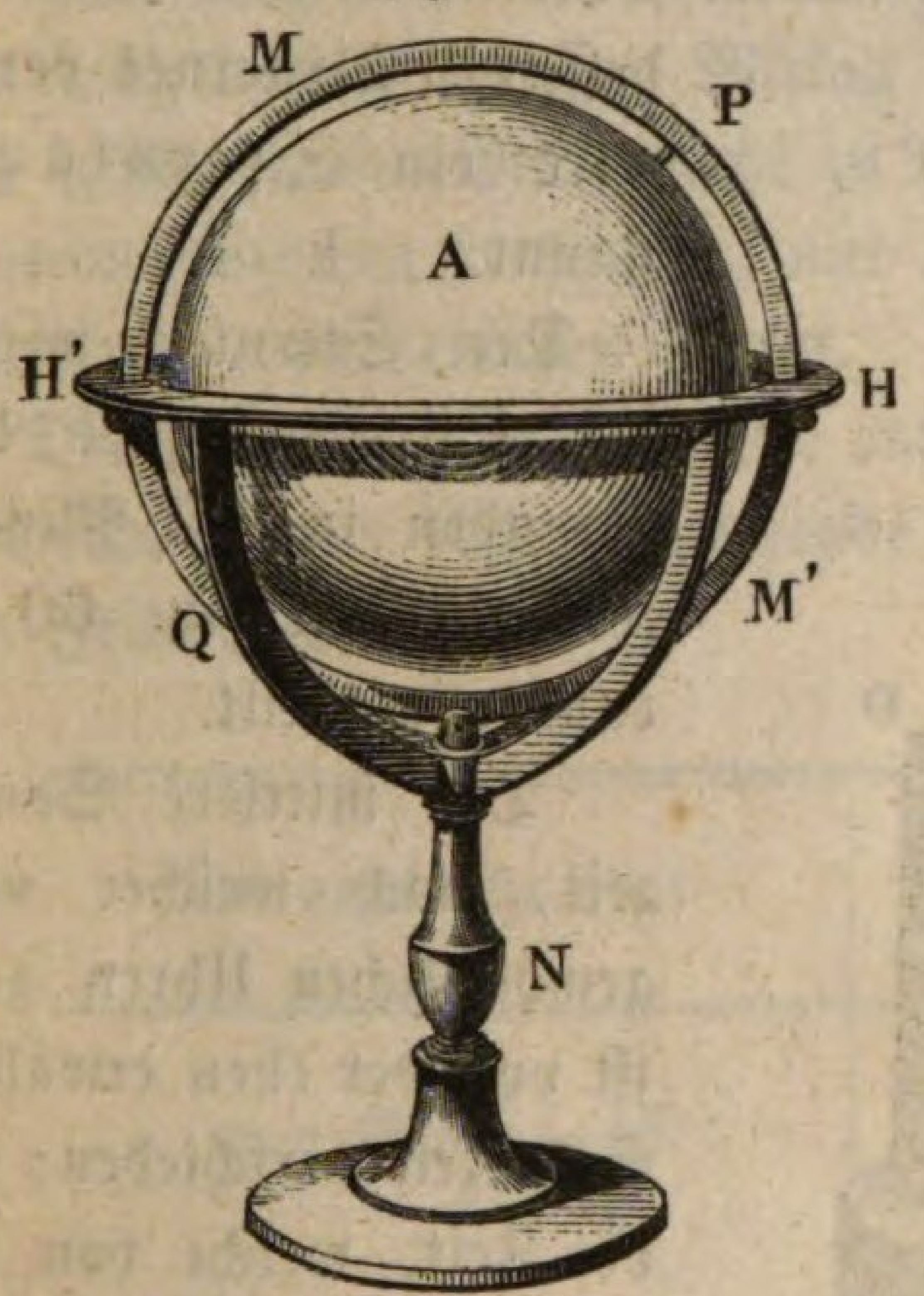
Für alle Sterne, welche auf dem Himmelsäquator liegen, ist der Tagbogen dem Nachtbogen gleich. In unseren Gegenden ist der Tagbogen für die auf

der nördlichen, der Nachtbogen für die auf der südlichen Hemisphäre liegenden Sterne größer.

Die auf- und untergehenden Sterne gehen allerdings auch während einer Umdrehung der Himmelskugel zweimal durch die Ebene des Meridians, aber nur ihre obere Culmination ist sichtbar.

Die bisher besprochenen Erscheinungen der täglichen Bewegung des Himmels lassen sich sehr gut mit Hülfe eines Himmelsglobus, Fig. 4, anschaulich machen. Auf einem passenden Gestell ist ein messingener Ring *MM'* eingesetzt, innerhalb dessen eine um die Axe *PQ* drehbare Kugel *A* angebracht ist. Auf dieser Kugel sind die verschiedenen Sterne und Sternbilder in gehöriger gegenseitiger Stellung verzeichnet. *PQ* stellt die Weltaxe, *HH* die Ebene des Horizontes dar. Um die Erscheinungen nachzuahmen, wie sie im mittleren Deutschland beobachtet werden, hat man nur den Ring *M* so zu stellen, daß die Axe *PQ* um 50° gegen den Horizont geneigt ist, d. h. daß der Bogen von *P* bis *H* 50° beträgt. Um eine gehörige Einstellung möglich zu machen, ist der Ring *MM'* in Grade eingetheilt.

Fig. 4.



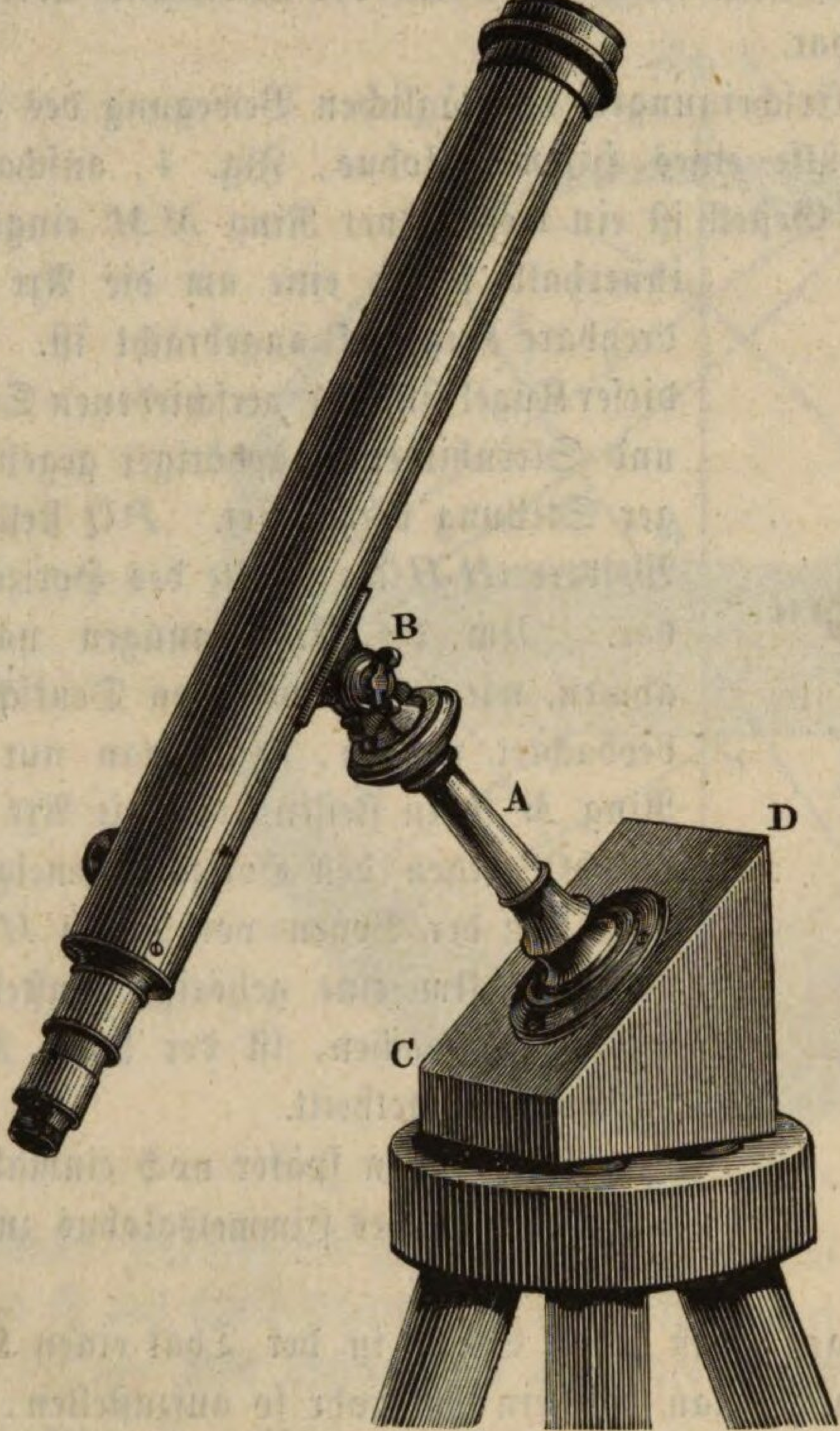
Wir werden später noch einmal auf den Gebrauch des Himmelsglobus zurückkommen.

Um sich davon zu überzeugen, daß jeder Stern in der That einen Kreis um die Weltaxe beschreibt, braucht man nur ein Fernrohr so aufzustellen, daß es sich um eine feste Axe drehen läßt, deren Richtung mit der Weltaxe parallel ist. Fig. 5 (a. f. S.) zeigt eine hierzu geeignete Vorrichtung. Von dem gewöhnlichen Stativ eines Fernrohres, welches eine Drehung um eine verticale und um eine horizontale Axe erlaubt, sind die Füße weggenommen und die sonst vertical stehende Säule *A* rechtwinklig auf der schrägen Fläche *CD* eines Klotzes befestigt, welche mit dem Horizont einen ebenso großen Winkel macht wie der Himmelsäquator. Stellt man nun den Apparat so auf, daß die Fläche *CD* dem Himmelsäquator parallel ist, so fällt die Axe *BA* mit der Richtung der Himmelsaxe zusammen. Richtet man alsdann das Fernrohr auf irgend einen Stern, schraubt man dann die Schraube *B* fest zu, so daß der Winkel, welchen das Fernrohr mit der Säule *A* macht, sich nicht mehr ändern kann, so braucht man das Fernrohr nur langsam um die Axe *A* zu drehen, um den Stern beständig im Gesichtsfelde zu behalten.

Bei dieser Umdrehung beschreibt die Visirlinie des Fernrohres eine Kegelfläche und der Durchschnitt dieser Kegelfläche mit dem Himmelsgewölbe ist ein Kreis, welcher mit dem Himmelsäquator parallel läuft. Aus diesem Grunde

sagt man auch, daß ein Fernrohr, welches in der erwähnten Weise aufgestellt ist, parallaktisch aufgestellt sei.

Fig. 5.



Wir werden später zweckmäßigere und vollkommnere Formen parallaktischer Aufstellung kennen lernen.

3 **Sternzeit.** Die Zeit, welche zwischen je zwei auf einander folgenden oberen Culminationen eines und desselben Fixsternes vergeht, wird ein Sterntag genannt.

Der Sterntag wird in 24 Stunden, jede dieser Stunden in 60 Minuten, jede Minute in 60 Secunden getheilt.

Die mittlere Sonnenzeit, nach welcher unsere gewöhnlichen Uhren gehen, ist von der eben erwähnten Sternzeit verschieden; denn die Zeit, welche von einer Sonnenculmination bis zur nächsten vergeht, ist, wie wir bald sehen werden, größer als ein Sterntag.

Ein Sterntag ist nach mittlerer Sonnenzeit gleich 23 Stunden 56′ und 4,09″, woraus sich folgende Vergleichung der Sternzeit und der mittleren Sonnenzeit ergiebt:

Sternzeit.	Mittlere Zeit.
1^h	0^h 59′ 50,17″
1′	59,81

und

Mittlere Zeit.	Sternzeit.
1^h	1^h 0′ 9,86″
1′	1 0,16

Auf Sternwarten werden nicht allein Uhren gebraucht, welche nach mittlerer Sonnenzeit, sondern auch solche, welche nach Sternzeit gehen.

Die Sternzeit könnte man von der Culmination irgend eines beliebigen Sternes zählen, was aber in der That nicht geschieht; denn die Astronomen zählen den Sterntag von der Culmination eines bestimmten, später näher zu definirenden Punktes auf dem Himmelsäquator an, welcher den Namen des Frühlingspunktes führt und an dessen Stelle gerade kein Stern steht. Vorläufig mag nur bemerkt werden, daß der Frühlingspunkt derjenige ist, in welchem die Sonne im März den Himmelsäquator passirt.

Hier mag auch die Bemerkung Platz finden, daß die Astronomen ihren Sonnentag von Mittag zu Mittag zählen und nicht, wie es im bürgerlichen Leben geschieht, von Mitternacht zu Mitternacht, und daß sie ferner die 24 Stunden ununterbrochen fortzählen, und zwar beginnen sie ihren Tag am Mittag des gleichnamigen bürgerlichen Tages.

Die folgende kleine Tabelle enthält für verschiedene Stunden eines beliebigen Sonnentages die entsprechende Bezeichnung nach der gewöhnlichen bürgerlichen Zeitrechnung.

Astronomische Zeit.			Bürgerliche Zeit.			
6ten	März	0^h	6ten	März	12^h	Mittags
»	»	4	»	»	4	Nachmittags
»	»	8	»	»	8	Abends
»	»	12	7ten	März	0	Mitternacht
»	»	16	»	»	4	Morgens
»	»	20	»	»	8	Morgens.

Sternbilder. Für Jeden, welcher die astronomischen Erscheinungen studiren will, ist es von großer Wichtigkeit, zunächst die Bühne kennen zu lernen, auf welcher alle jene Erscheinungen vor sich gehen, also sich am Fixsternhimmel zu orientiren, d. h. sich wenigstens mit den ausgezeichneteren Sternen und ihrer gegenseitigen Stellung bekannt zu machen. 4

Die Zahl der im mittleren Europa mit bloßem Auge sichtbaren Fixsterne beträgt ungefähr 3250. Nach der Stärke ihres Glanzes hat man sie in sechs Classen abgetheilt, so daß die hellsten als Sterne erster Größe bezeichnet werden, während man die schwächsten, die einem guten Auge noch erkennbaren, Sterne sechster Größe nennt. Unter den im mittleren Deutschland sichtbaren Sternen giebt es

14	Sterne	erster	Größe
51	»	zweiter	»
153	»	dritter	»
325	»	vierter	»

810 Sterne fünfter Größe
1871 » sechster »
15 » veränderlicher Größe.

Dazu kommt aber noch eine ungeheure Anzahl von Sternen, welche nur durch Fernröhre sichtbar sind und welche teleskopische Sterne genannt werden.

Die Zahl der im mittleren Europa sichtbaren Sternbilder beträgt 57, wenn man einige kleinere in späteren Zeiten auf Kosten der älteren eingeführten unberücksichtigt läßt. Die Namen dieser Sternbilder sind:

der kleine Bär,	der Widder,	Eridanus,
Cassiopeia,	der Stier,	der Hase,
Kamelopard,	Orion,	die Taube,
der Drache,	die Zwillinge,	das Einhorn,
Cepheus,	der kleine Hund,	der große Hund,
Perseus,	der Krebs,	das Schiff Argo,
der Fuhrmann,	der große Löwe,	Hydra,
der Luchs,	der kleine Löwe,	der Becher,
der große Bär,	der Sextant,	die Jungfrau,
die Jagdhunde,	das Haar der Berenice,	der Rabe,
Bootes,	die Schlange,	der Centaur,
die nördliche Krone,	Ophiuchus,	die Wage,
Hercules,	der Adler,	der Wolf,
die Leyer,	der Fuchs,	der Scorpion,
der Schwan,	der Pfeil,	der Schütze,
die Eidechse,	der Delphin,	das Schild des Sobieski,
Andromeda,	das Füllen,	der Steinbock,
die Fische,	Pegasus,	der Wassermann,
der Triangel,	der Wallfisch,	der südliche Fisch.

Die Karte Tab. I. zeigt in Polarprojection die Sternbilder der nördlichen Hemisphäre bis zu einer Entfernung von 60° vom Nordpol des Himmels, welcher den Mittelpunkt dieser Karte bildet.

Die Karte Tab. II. zeigt in Aequatorialprojection den Theil des Himmels, welcher von zwei rechtwinklig auf der Weltaxe stehenden Kreisen begränzt ist, von denen der eine 50° nördlich, der andere 50° südlich vom Himmelsäquator liegt, es kommen also die Sterne am oberen Rande von Tab. II. auch am äußeren Rande von Tab. I. vor; am unteren Ende von Tab. II. befinden sich aber Sterne, welche im mittleren Europa nie über den Horizont kommen.

In diesen Karten sind die Sterne erster bis fünfter Größe eingetragen, und zwar die Sterne erster Größe als 8seitige Sternchen, die Sterne zweiter, dritter und vierter Größe als 6seitige, 5seitige und 4seitige Sternchen; die Sterne fünfter Größe endlich als bloße Punkte.

Die Sternkarten Tab. I. und Tab. II. enthalten nur die Sterne selbst, um nicht durch Weiteres die Uebersichtlichkeit der Constellation zu stören. — Die Abtheilung der Sternbilder, die Namen derselben, die Bezeichnung der einzelnen Sterne u. s. w. findet man auf den Sternkarten Tab. III. und Tab. IV

Fig. 6.



welche, wie man sich leicht überzeugen kann, den Karten Tab. I. und Tab. II. vollkommen entsprechen.

Ein auf der Karte Tab. III. mit dem Radius 50° gezogener Kreis begränzt den Theil des Himmels, dessen Sterne für das mittlere Deutschland nicht auf- und nicht untergehen.

Fig. 6 (S. 13) und Fig. 7 (S. 15) stellen einzelne sternreiche Gegenden des Himmels in etwas größerem Maßstabe sammt den gebräuchlichen Figuren dar, und zwar Fig. 6 die Sternbilder Orion und Stier, Fig. 7 Leyer und Schwan.

5 **Bezeichnung der einzelnen Sterne.** Die auffallenderen Sterne waren schon von den Alten mit besonderen Namen belegt worden, wie z. B. Sirius, Capella, Regulus u. s. w.; andere Namen einzelner Sterne rühren von den Arabern her, wie Deneb, Aldebaran, Rigel u. s. w. Da jedoch die Zahl der einzelnen Sterne viel zu groß ist, um jedem einen eigenen Namen beilegen zu können, ohne daß alle Uebersichtlichkeit verloren ginge, so haben die Astronomen seit Bayer und Doppelmayer die einzelnen Sterne jedes Sternbildes mit griechischen oder lateinischen Buchstaben bezeichnet, und zwar so, daß man den hellsten Stern des Sternbildes α, den folgenden β u. s. w. nannte. Später mußte man jedoch auch noch zu Zahlen seine Zuflucht nehmen.

Die bei uns sichtbaren Sterne erster Größe sind:

1) Nördlich vom Aequator.

Wega oder α der Leyer.
Capella oder α des Fuhrmanns.
Arcturus oder α des Bootes.
Aldebaran oder α des Stiers.
Regulus oder α des Löwen.
Atair oder α des Adlers.
Pollux oder β der Zwillinge.
Procyon oder α des kleinen Hundes.
Beteigeuze oder α des Orion.

2) Südlich vom Aequator.

Rigel oder β des Orion.
Sirius oder α des großen Hundes (der hellste Fixstern).
Spica oder α der Jungfrau.
Antares oder α des Scorpions.
Fomalhaut oder α des südlichen Fisches.

Von manchen wird auch noch Deneb oder α des Schwans zu den Sternen erster Größe gerechnet.

Es wird keine Schwierigkeit haben, diese Sterne auf den Karten Tab. I. und Tab. II., sowie auch auf Tab. III. und IV. aufzufinden.

Unter den Sternen zweiter Größe ist hervorzuheben:

α ursae minoris oder der Polarstern.

Algenib oder α des Perseus, der nördliche von den beiden Sternen zweiter Größe, welche unsere Karte in diesem Sternbild zeigt. Der andere als ein Stern zweiter Größe bezeichnete ist Algol oder β des Perseus. Der Haupt-

Fig. 7.



stern im Haupt der Medusa, **Algol**, ist veränderlich, er wechselt zwischen zweiter und vierter Größe.

Der **große Bär** enthält sechs Sterne zweiter Größe, welche mit einem Stern dritter Größe die Constellation Fig. 8 bilden, welche die Alten auch den **Wagen** nannten. Die Sterne δ, ε, ζ und η bilden den Schwanz des großen Bären. Alle diese sieben Sterne führen arabische Namen; so heißt α des großen Bären auch **Dubhe**; **Merak** und **Mizar** sind die arabischen Namen für β und ζ ursae majoris.

Im **großen Löwen** finden sich außer einem Sterne erster Größe, dem Regulus, noch drei Sterne zweiter Größe, von denen der östlichste β leonis auch den Namen **Denebola** führt.

In der Nähe des schon erwähnten **Pollux** im Sternbild der Zwillinge, und zwar nordwestlich von demselben findet sich α geminorum oder **Castor**, ein Stern zweiter Größe.

Zu den schönsten Sternbildern des Himmels gehören **Orion** und der **Stier**, welche in Fig. 6 besonders dargestellt sind. Wie bereits oben erwähnt wurde, sind im Orion zwei Sterne erster Größe, **Rigel** und **Beteigeuze**, im Stier aber einer, nämlich **Aldebaran**. Im Orion bilden drei nahe zusammenstehende Sterne zweiter Größe fast eine gerade Linie (den **Jakobsstab** oder den **Gürtel des Orion**), welche nach Osten hin verlängert auf **Sirius** trifft.

Das Sternbild des Stiers ist besonders durch zwei Sterngruppen, die **Hyaden** und die **Plejaden** (das Siebengestirn oder die Gluckhenne), ausgezeichnet, deren schon **Homer** Erwähnung thut. Die Hyaden, zunächst bei Aldebaran bilden mit demselben ein Dreieck; nordwestlich davon stehen die Plejaden, ein dicht gedrängter Sternhaufen, in dessen Mitte sich **Alcyone**, ein Stern dritter Größe, befindet.

Wir werden später noch auf die Eigenthümlichkeiten einzelner Fixsterne zurückkommen.

Fig. 8.



6 **Orientirung am Himmel.** Um sich am gestirnten Himmel zu orientiren, geht man gewöhnlich vom Sternbild des großen Bären aus, welches durch die ausgezeichnete Constellation, Fig. 8, am nördlichen Himmel zu allen Jahreszeiten leicht aufgefunden werden kann. Denkt man sich die Linie, welche die Sterne α und β verbindet, in der Richtung von β über α hinaus verlängert und auf diese Verlängerung die Entfernung $\alpha\beta$ ungefähr $5\frac{1}{2}$ mal aufgetragen, so findet man den **Polarstern** (α des kleinen Bären),

welcher sehr geeignet ist, um auszumitteln, nach welcher Richtung hin **Norden** liegt.

Hat man einmal den großen Bären und den Polarstern am Himmel aufgefunden, so geben diese Sterne den Ausgangspunkt zu einer weiteren Orientirung am Himmel und zur Aufsuchung der übrigen Sternbilder. Eine öfters wiederholte Vergleichung guter Sternkarten und Himmelsgloben mit dem gestirnten Himmel selbst ist das beste Mittel, die einzelnen Sternbilder kennen zu lernen.

Um eine solche Orientirung zu erleichtern, mag hier noch angeführt werden, an welcher Stelle des Himmels **Abends um 9 Uhr** die wichtigsten Sternbilder zu finden sind.

In der **Mitte Januar** steht um 9 Uhr Abends der **Stier** und **Orion** am südlichen Himmel; **Aldebaran** hat bereits den Meridian passirt und **Rigel** ist der Culmination nahe. Am südöstlichen Himmel ist **Sirius** leicht aufzufinden. Dem Zenith sehr nahe steht Capella im Sternbild des Fuhrmanns. Eine gerade Linie von Rigel über Beteigeuze führt zum Sternbild der Zwillinge, welches durch die beiden Sterne **Castor** und **Pollux** leicht kenntlich ist. Am nordöstlichen Himmel geht der große Löwe auf. **Regulus** steht schon ungefähr 20° über dem Horizont. Etwas westlich vom Nordpunkt ist **Wega** oben über dem Horizont sichtbar.

Unterhalb des Horizontes befinden sich um diese Zeit unter anderen die Sternbilder Jungfrau, Scorpion, Schütze, Adler, Delphin u. s. w.

In der bezeichneten Abendstunde hat in der **Mitte Februar** **Sirius** bereits culminirt und **Orion** steht westlich. **Castor** und **Pollux** in einer Höhe von etwa 70 Graden noch etwas östlich vom Meridian. Nach Nordnordwesten hin steht α des Schwans dem Horizont nahe. Am östlichen Himmel ist das Sternbild des Löwen jetzt ganz sichtbar, indem **Denebola** gerade nach Osten hin schon ungefähr 25° über dem Horizont steht. Am westlichen Himmel findet man das Sternbild des **Widders** ungefähr 30° über dem Horizont. Im Nordosten ist Arcturus im Sternbild des Bootes eben aufgegangen.

Mitte März, Abends 9 Uhr. Der Widder dem Untergang nahe; **Stier** und **Orion** am westlichen Himmel, **Regulus** der Culmination nahe. Im Osten ist Spica im Sternbild der Jungfrau bereits aufgegangen. Gerade nach Norden steht α des Schwans eben über dem Horizont.

Mitte April, Abends 9 Uhr. **Orion** und der **Stier** dem Untergang nahe; der **große Löwe** culminirt, und zwar hat Regulus den Meridian bereits passirt, Denebola steht noch östlich von demselben. Zwischen **Aldebaran** und **Regulus** findet man das Sternbild der Zwillinge am westlichen Himmel ungefähr 40° über dem Horizont. Im Südosten des Himmels steht das Sternbild der **Jungfrau**. Der **große Bär** steht fast im Zenith. Sirius dem Untergange nahe.

Mitte Mai, Abends 9 Uhr. Nach Norden hin, etwas westlich vom Meridian und noch 20° über dem Horizont findet man das Sternbild der **Cassiopeia**. Am nordöstlichen Himmel ist der **Schwan** bereits ganz aufgegangen, und **Wega** steht schon ziemlich hoch über dem Horizont. Etwas weniger hoch über dem Horizont steht Capella nach Nordwesten hin. Am westlichen Himmel findet man die Zwillinge und den kleinen Hund. Spica nähert sich

dem Meridian. Etwas weiter davon entfernt, aber höher, findet sich Arcturus im Sternbild des Bootes.

Mitte Juni, Abends 9 Uhr. Arcturus hat den Meridian bereits passirt und steht ungefähr 60° über dem Horizont. Am westlichen Himmel ist der große Löwe sichtbar. Die Zwillinge sind zum Theil schon untergegangen, aber Castor und Pollux noch sichtbar. Am südwestlichen Himmel steht das Sternbild der Jungfrau. Am östlichen Himmel findet man den Delphin, den Adler, den Schwan und die Leyer. Am südöstlichen Himmel steht Antares im Sternbild des Scorpions.

Mitte Juli, Abends 9 Uhr. Antares hat bereits den Meridian passirt. Regulus ist dem Untergange nahe. Spica steht am südwestlichen Himmel. Gerade nach Norden hin Capella fast am Horizont. Hoch am östlichen Himmel stehen Delphin, Adler, Schwan und Leyer.

Mitte August, Abends 9 Uhr. Spica eben untergehend, der Scorpion 30° westlich vom Meridian nahe über dem Horizont. Bootes am westlichen Himmel. Wega culminirt, beinahe 80° über dem Horizont, etwas östlich davon steht der Schwan.

Mitte September, Abends 9 Uhr. Delphin und α des Schwans culminiren, am westlichen Himmel steht Arcturus dem Horizont nahe; am nordöstlichen Himmel sieht man Capella in geringer Höhe über dem Horizont.

Mitte October, Abends 9 Uhr. Am westlichen Himmel stehen Adler, Schwan und Leyer. Aldebaran und die Plejaden sind im Osten bereits aufgegangen.

Mitte November, Abends 9 Uhr. Gerade nach Norden hin steht der große Bär in seiner tiefsten Stellung. Cassiopeia beginnt zu culminiren. Orion ist im Osten, und etwas mehr nach Norden hin sind die Zwillinge aufgegangen. Außerdem stehen am östlichen Himmel der Fuhrmann, Perseus, der Stier, und mehr nach Süden hin der Wallfisch. α der Andromeda hat eben den Meridian passirt. Am westlichen Himmel Adler, Leyer, Schwan u. s. w.

Mitte December, Abends 9 Uhr. Am östlichen Himmel glänzen Orion, der Stier, die Zwillinge, der Fuhrmann mit der Capella. Im Süden steht der Wallfisch. Der Widder, ungefähr 60° über dem Horizont, hat bereits den Meridian passirt. Dem Zenith nahe stehen Perseus und Cassiopeia. Ersteres Sternbild ist der Culmination nahe, letzteres hat den Meridian bereits passirt. Am westlichen Himmel ist der Delphin dem Untergange nahe, mehr nach Norden hin steht die Leyer noch über dem Horizont und zwischen beiden etwas höher am Himmel der Schwan.

Die am oberen und unteren Rande der Karte Tab. IV. notirten Monatstage bezeichnen die Stelle des Himmels, welche an den genannten Tagen um Mitternacht culminirt. Verbindet man z. B. die Punkte des oberen Randes, welche dem 9. December entsprechen, durch eine gerade Linie, so geht diese durch den Stern β Orionis; Rigel culminirt also um Mitternacht am 9. December.

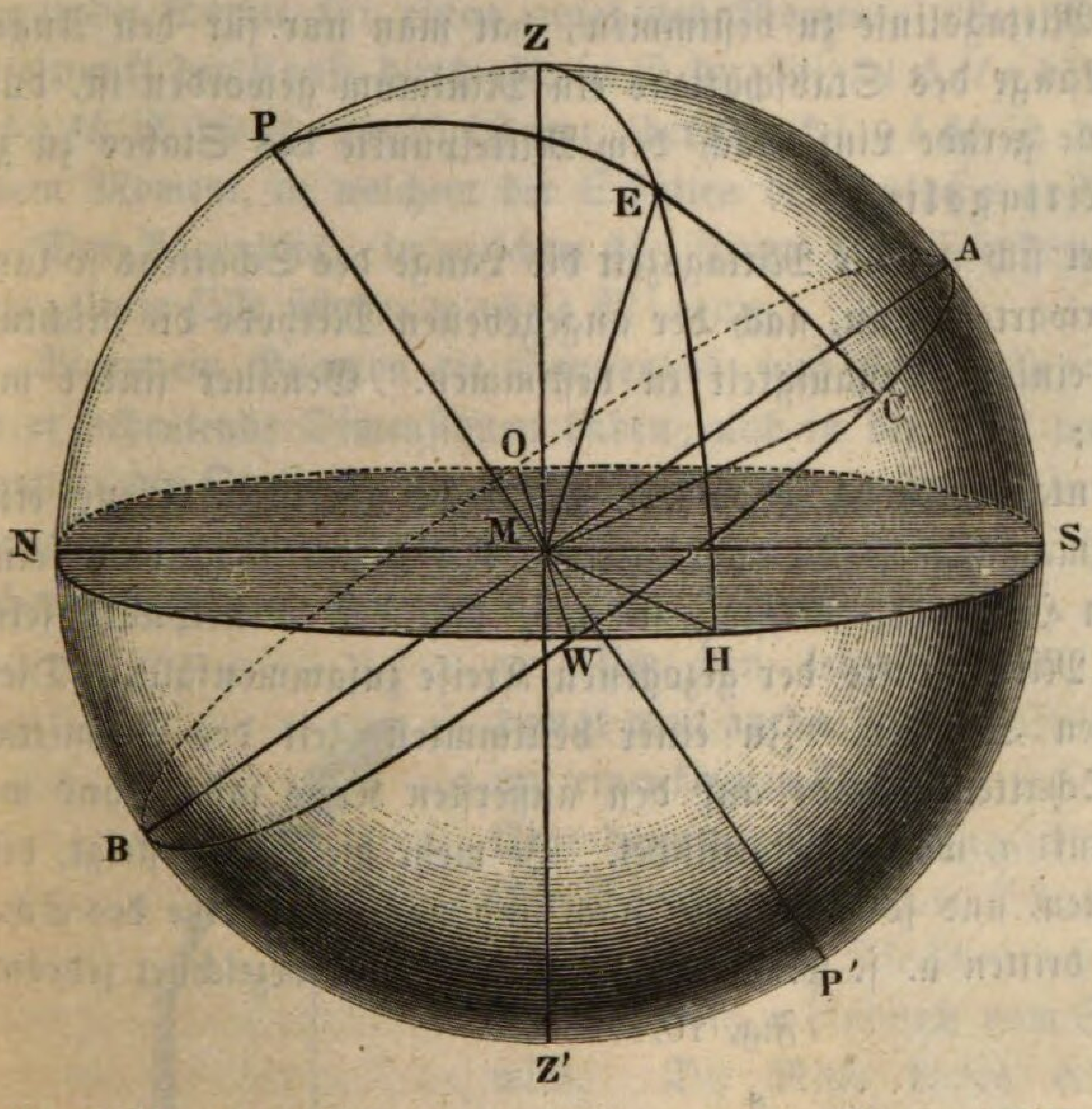
Ebenso ersieht man aus jener Karte, daß das Sternbild des Scorpions Ende Mai und Anfangs Juni um Mitternacht culminirt.

Höhe und Azimut. Um die Stellung eines Gestirns am Himmel mit 7
der Genauigkeit zu bestimmen, wie es astronomische Zwecke erfordern, genügt es nicht, seine Stellung in einem Sternbild anzugeben, es genügt z. B. nicht, zu sagen: der oder jener Stern steht im Kopfe des Drachen; der Mond befindet sich eben in der linken Schulter der Jungfrau u. s. w. Solche Angaben können nur dazu dienen, annähernd den Ort des Gestirns am Himmel zu bezeichnen; eine genaue Ortsbestimmung erfordert mathematische Hülfsmittel.

Um irgend einen Punkt am Himmel mit mathematischer Genauigkeit zu bestimmen, bedarf es vor allen Dingen eines passend gewählten Coordinatensystems, und zwar zeigt sich für astronomische Zwecke ein auf der Oberfläche der Himmelskugel angebrachtes System größter Kreise als das passendste.

Denken wir uns durch einen Stern *E*, Fig. 9, den Beobachtungsort *M*, und das Zenith *Z* desselben in eine Ebene gelegt, so schneidet diese die Himmelskugel in einem größten Kreise *ZEH*, welcher rechtwinklig auf dem Horizont steht.

Fig. 9.



Alle solche durch das Zenith gelegte, auf dem Horizont rechtwinklig stehende Kreise heißen Höhenkreise oder auch Verticalkreise.

Der Bogen *EH* vom Stern *E* bis zu dem Punkte *H*, in welchem sein Höhenkreis den Horizont trifft, heißt die Höhe des Sternes, der Bogen *EZ* aber vom Stern zum Zenith heißt die Zenithdistanz.

Höhe und Zenithdistanz eines Sternes ergänzen sich zu 90°. Ist also die Höhe eines Sternes 60°, so ist seine Zenithdistanz 30°.

Der Bogen *SH* vom Südpunkte *S* des Horizonts bis zum Punkt *H*, in welchem der Höhenkreis des Sternes *E* den Horizont trifft, heißt das Azimut des Sternes *E*; das Azimut eines Sternes kann also auch als der Winkel definirt werden, welchen sein Höhenkreis mit der Ebene des Meridians macht.

Das Azimut wird vom Südpunkte *S* nach Westen hin gezählt. Das Azimut 90° entspricht also dem Westpunkt. Für den Ostpunkt des Horizontes ist das Azimut 270°. Ein Höhenkreis, dessen Azimut 315° ist, liegt 45° östlich vom Meridian, er trifft also gerade nach Südosten hin den Horizont.

Durch Höhe und Azimut ist die Stellung eines Sternes vollkommen bestimmt. Eine solche Bestimmung gilt jedoch immer nur für einen gegebenen Zeitmoment; denn in Folge der täglichen Bewegung des Himmels ändert sich sowohl Höhe als auch Azimut eines Gestirns in jedem Augenblick.

Um Höhe und Azimut eines Gestirns für einen gegebenen Augenblick ermitteln zu können, ist vor allen Dingen nöthig, daß die Mittagslinie des Beobachtungsortes mit Genauigkeit bestimmt sei, weil sie ja den Ausgangspunkt zur Messung der Azimute bildet.

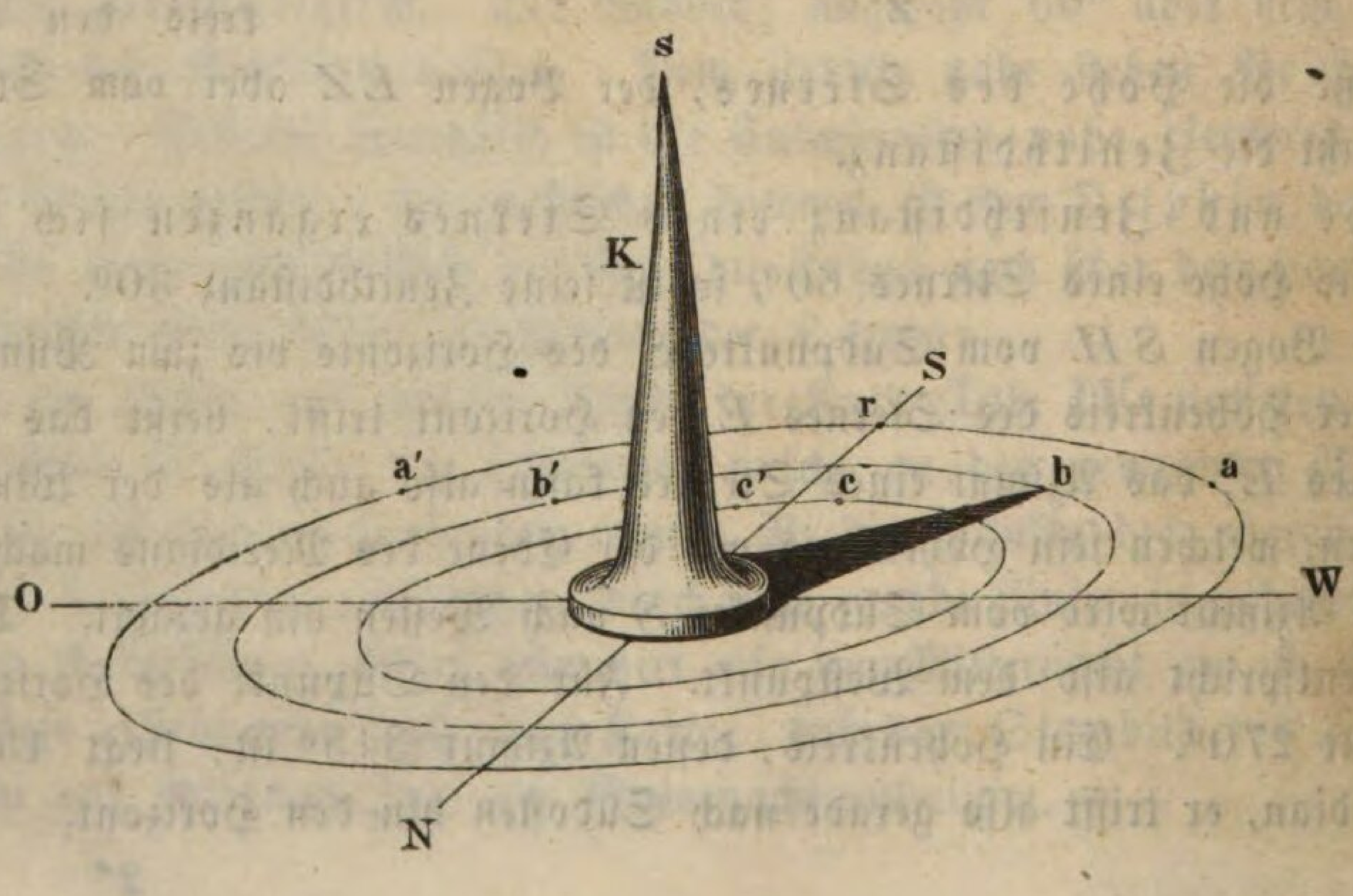
8 **Bestimmung des Meridians.** Denkt man sich durch das Auge des Beobachters und ein Gestirn, welches eben culminirt, eine Verticalebene gelegt, so ist dies der Meridian.

In dem Moment, in welchem die Sonne ihre größte Höhe erreicht, ist der Schatten, welchen ein verticaler Stab auf eine horizontale Ebene wirft, am kürzesten. Um also die Mittagslinie zu bestimmen, hat man nur für den Augenblick, in welchem die Länge des Stabschattens ein Minimum geworden ist, durch das Ende desselben eine gerade Linie nach dem Mittelpunkte des Stabes zu ziehen, so ist dies die Mittagslinie.

Nun aber ändert sich um die Mittagszeit die Länge des Schattens so langsam, daß man nicht erwarten kann, nach der angegebenen Methode die Richtung der Mittagslinie mit einiger Genauigkeit zu bestimmen. Genauer findet man sie auf folgende Weise:

Auf einer horizontalen Ebene (etwa der wagerecht gestellten Ebene eines Meßtischblattes) ziehe man eine Reihe concentrischer Kreise und stelle dann einen spitzigen Kegel K von Holz oder Messing so auf, daß der Mittelpunkt seiner Grundfläche mit dem Mittelpunkte der gezogenen Kreise zusammenfällt. Dieser Kegel wirft nun einen Schatten. Zu einer bestimmten Zeit des Vormittags wird die Spitze des Schattens gerade auf den äußersten Kreis fallen, und man bezeichnet nun den Punkt a, wo dies stattfindet. Je mehr die Sonne steigt, desto kürzer wird der Schatten, und so wird denn nach und nach die Spitze des Schattens den zweiten, den dritten u. s. w. Kreis treffen, und man bezeichnet jedesmal

Fig. 10.



die Punkte *b, c* u. s. w., wo dies der Fall ist. In gleicher Weise bezeichnet man auch des Nachmittags die Punkte *c' b' a'*, in welchen die Spitze des Stabschattens dieselben Kreise trifft. Halbirt man nun den Bogen *aa'*, zieht man von dem Halbirungspunkte *r* eine Linie nach dem Mittelpunkte der Kreise, so ist dies die Mittagslinie, welche in unserer Figur durch *NS* bezeichnet ist. In gleicher Weise erhält man sie durch Halbirung des Bogens *bb'* und des Bogens *cc'*.

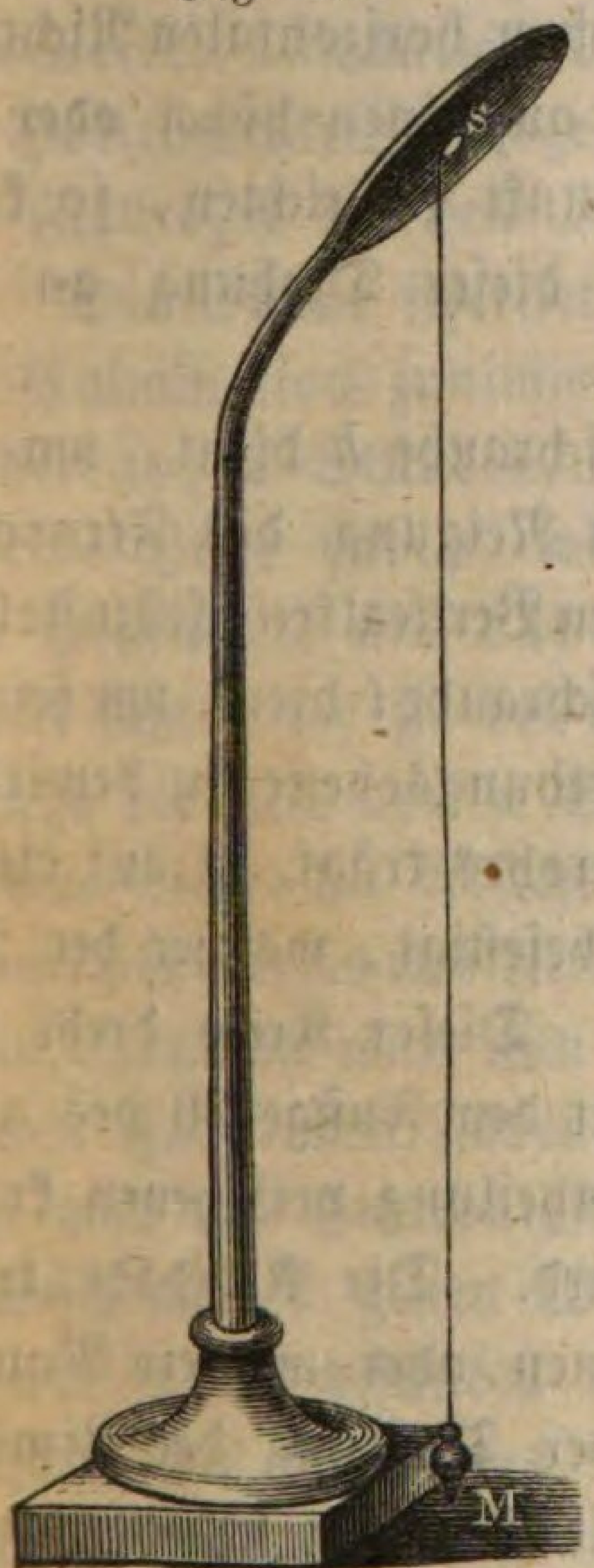
Wären alle Beobachtungen und Halbirungen fehlerlos, so müßten die so bestimmten Mittagslinien genau zusammenfallen. Ist dies nicht der Fall, so nimmt man eine zwischen diesen liegende mittlere Richtung als Mittagslinie an.

Eine solche Vorrichtung, wie überhaupt jede, welche dazu dient, um durch den Schatten irgend eines Körpers die Mittagslinie zu bestimmen oder Sonnenhöhen zu messen, wird ein Gnomon genannt. Ist einmal für einen Gnomon die Mittagslinie bestimmt, so erhält man durch diese Vorrichtung leicht Höhe und Azimut der Sonne für einen gegebenen Moment. Bezeichnen wir nämlich den Mittelpunkt der Kreise durch *M*, so ist der Winkel *bMr* das Azimut, der Winkel *bsM* ist die Zenithdistanz, der Winkel *sbM* ist die Höhe der Sonne in dem Moment, in welchem der Schatten der Spitze *s* nach *b* fällt.

Der Augenblick, in welchem die Spitze des Stabschattens gerade auf die Mittagslinie fällt, ist der wahre Mittag.

Wenn ein Gnomon die Sonnenhöhe mit einiger Genauigkeit geben soll, so muß er bedeutende Dimensionen haben, und in der That wandten auch die alten Aegyptier die Obelisken an, eine Sonnenhöhe zu bestimmen; allein mit der größeren Höhe des schattenwerfenden Körpers wird auch der Schatten der Spitze verwaschener, und dies ist dann eine neue Fehlerquelle.

Fig. 11.



Um den letzteren Uebelstand zu vermeiden, bringt man an der höchsten Spitze des Gnomons eine mit einer kleinen Oeffnung versehene Metallplatte an. Eine derartige Vorrichtung ist in Fig. 11 dargestellt. Die Scheibe wirft einen Schatten, in dessen Mitte ein rundes, helles Fleckchen erscheint, welches durch die Oeffnung *s* hindurch vom Sonnenlicht beschienen wird. Die Mitte dieses erleuchteten Fleckchens, welche sich mit ziemlicher Genauigkeit ermitteln läßt, entspricht der Spitze des Stabschattens in Fig. 10. Ein von der Oeffnung *s* herabhängendes Bleiloth bezeichnet den Punkt *M* auf der horizontalen Ebene, welcher gerade senkrecht unter *s* liegt. Die Länge *Ms* entspricht dann der Länge des verticalen Stabes, welcher den gewöhnlichen Gnomon bildet.

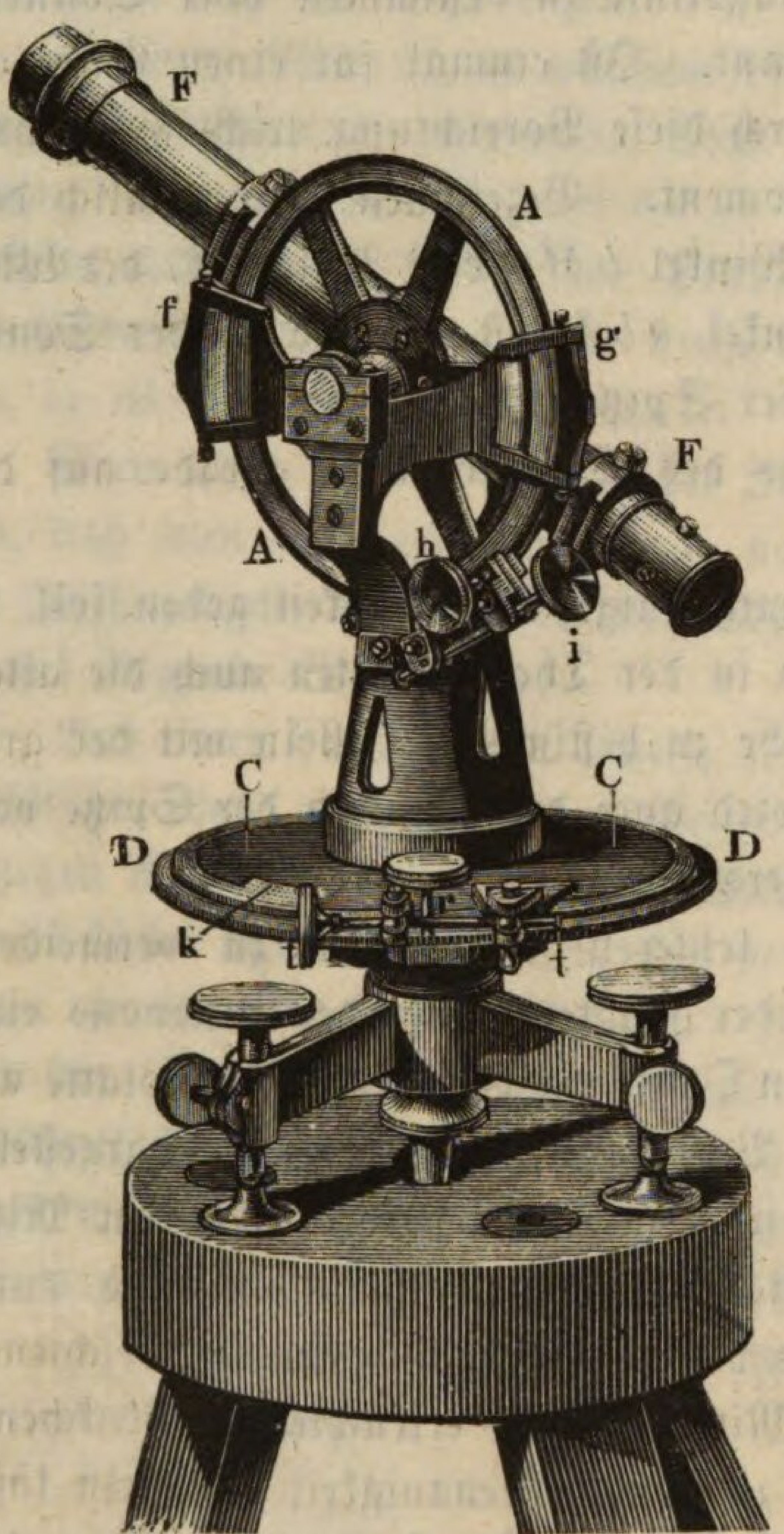
Auch nach diesem Princip hat man Gnomone im großen Maßstab ausgeführt, indem man die durchbohrte Metallplatte in der Wand oder in der Decke eines großen, innen freien Gebäudes, etwa einer Kirche, anbrachte und das Bild der Sonne auf

den gegenüberliegenden Fußboden fallen ließ. Einen solchen Gnomon errichtete Paul Toscanelli im Jahre 1467 in der Kuppel des Domes zu Florenz. Die Oeffnung war 277 Fuß über dem Fußboden der Kirche angebracht.

In älteren Sternwarten findet man noch solche Gnomone, in neueren Zeiten hat man sie verlassen, weil man jetzt weit genauere Mittel hat, die Richtung der Mittagslinie zu bestimmen und Sonnenhöhen zu messen.

9 **Das Theodolit.** Ein ungleich genaueres Mittel, sowohl Höhe und Azimut zu messen, als auch den Meridian zu bestimmen, bietet das Theodolit dar. Ein solches Instrument ist in Fig. 12 dargestellt; es besteht im Wesentlichen aus zwei getheilten Kreisen, von denen der eine vertical, der andere horizontal ist. Der Verticalkreis *A* ist sammt dem Fernrohr *F* an einer horizontalen Axe befestigt und beide sind um diese Axe drehbar, so daß die gegenseitige Stellung des getheilten Verticalkreises und des Fernrohrs nicht geändert werden kann. Zu beiden Seiten des drehbaren Kreises sind feste Nonien *f* und *g* angebracht. Wenn das Instrument gehörig aufgestellt und justirt ist, sollen die Nullpunkte der Nonien *g* und *f* auf die Punkte 0 und 180 der Theilung zeigen, sobald die Axe des Fernrohrs vollkommen wagerecht steht; dreht man dann das Fernrohr aus seiner horizontalen Richtung heraus, um es auf einen höher oder tiefer gelegenen Punkt zu richten, so kann man die Größe dieser Drehung an den Nonien ablesen.

Fig. 12.



Die Stellschraube *h* dient, um bei jeder beliebigen Neigung des Fernrohrs dieses sammt dem Verticalkreis festzustellen. Die Mikrometerschraube *i* dient, um feinere Verstellungen des Fernrohrs in seiner verticalen Umdrehungsebene zu bewirken.

Das Gestell, welches die horizontale Axe des Fernrohrs trägt, ist auf einem horizontalen um eine verticale Axe drehbaren Kreise *C* befestigt, welcher der Alhidadenkreis oder die Alhidade genannt wird. Dieser Kreis dreht sich um eine verticale Axe genau passend innerhalb eines mit dem Fußgestell des ganzen Apparates fest verbundenen, ringsum mit einer Gradtheilung versehenen kreisförmigen Ringes *D*, welcher der Limbus genannt wird. Die Alhidade trägt an ihrem äußeren Rande einen Index oder vielmehr einen oder mehrere Nonien *k*, welche sich bei der Drehung der Alhidade längs der Theilung des Limbus hinbewegen. Mittelst der Stellschraube *r* kann man die Alhidade feststellen und

mittelst der Mikrometerschraube *t* eine feinere Verschiebung bewerkstelligen.

Um den Limbus und die Alhidade gehörig wagerecht zu stellen, was man an einer in der Mitte der Alhidade angebrachten Dosenlibelle erkennen kann, dienen die drei Fußschrauben (in unserer Figur sind nur zwei sichtbar), welche das ganze Instrument tragen.

Bemerken wir noch, daß die Theodolitfernrohre stets astronomische Fernrohre sind (Lehrb. der Physik Bd. I. S. 491), daß sie also alle Gegenstände verkehrt zeigen und daß sie mit einem Fadenkreuz versehen sind. An der Stelle nämlich, an welcher das Bild des Objectives zu Stande kommt, ist eine in der Mitte mit einer runden Oeffnung versehenen Metallscheibe angebracht; über diese Oeffnung sind dann zwei sehr feine Fäden (in der Regel Spinnenfäden) sich rechtwinklig kreuzend ausgespannt, Fig. 13. Will man einen bestimmten Gegenstand, etwa einen Stern, einvisiren, so richtet man das Fernrohr so, daß das Bild des zu beobachtenden Gegenstandes genau in den Durchschnittspunkt der Fäden fällt. Man sieht, daß auf diese Weise die Visirlinie des Fernrohrs vollkommen genau bestimmt ist.

Fig. 13.



Will man durch das Theodolitfernrohr die Sonne beobachten, so muß man vor dem Ocular ein dunkelfarbiges Glas, das Sonnenglas, anbringen, weil das Auge ohne ein solches den Glanz des Sonnenlichtes nicht ertragen würde.

Bestimmung der Mittagslinie mit Hülfe des Theodolits. Um 10
nun mit Hülfe des Theodolits die Mittagslinie zu bestimmen, verfährt man in folgender Weise: Man richtet das Fernrohr des Instrumentes einige Zeit, *n* Stunden, vor der Culmination der Sonne so, daß der Gipfel des Sonnenrandes genau im Mittelpunkte des Fadenkreuzes erscheint. Der Höhenkreis und der Horizontalkreis werden nun mittelst der Stellschrauben *h* und *r* festgestellt und dann der Nonius des Horizontalkreises abgelesen. Durch diese Ablesung ist die Lage der Verticalebene des Fernrohrs für den Moment dieser ersten Beobachtung vollkommen bestimmt.

Die Sonne schreitet nun nach Westen vor, während zugleich ihre Höhe bis zur Culmination zunimmt. Nach der Culmination nimmt die Höhe der Sonne wieder ab, *n* Stunden nach ihrer Culmination wird die Sonne wieder genau dieselbe Höhe haben, wie zur Zeit der ersten Beobachtung. Wenn man also den Höhenkreis und das Fernrohr unverändert in der Stellung gegen den Horizont läßt, die sie bei der ersten Beobachtung einnahmen, so wird man, wenn nahezu die Zeit von *n* Stunden nach der Sonnenculmination verflossen ist, die Sonne wieder im Gesichtsfelde des Fernrohrs finden, wenn man die Alhidade sammt Höhenkreis und Fernrohr um die verticale Axe des Instrumentes nach Westen dreht. Zunächst wird nun der Gipfel des Sonnenrandes wieder genau hinter den verticalen Faden des Fadenkreuzes gebracht und dann folgt man der Sonne, indem man den Horizontalkreis langsam und zwar zuletzt mit Hülfe der Mikrometerschraube *t* gegen Westen fortschiebt, bis zu dem Moment, in welchem die Sonne so tief gesunken ist, daß der horizontale Faden wieder den Sonnenrand tangirt, der Gipfel des Sonnenrandes also wieder genau im Mittelpunkte des Fadenkreuzes erscheint. Man liest nun abermals den Nonius des Alhidaden-

kreises ab und erfährt durch diese zweite Ablesung den Winkel, welchen die Verticalebene des Fernrohrs bei der ersten Beobachtung mit der Verticalebene des Fernrohrs bei der zweiten Beobachtung macht. Halbirt man diesen Winkel, so ist dann eine durch die Halbirungslinie gelegte Verticalebene die Ebene des Meridians.

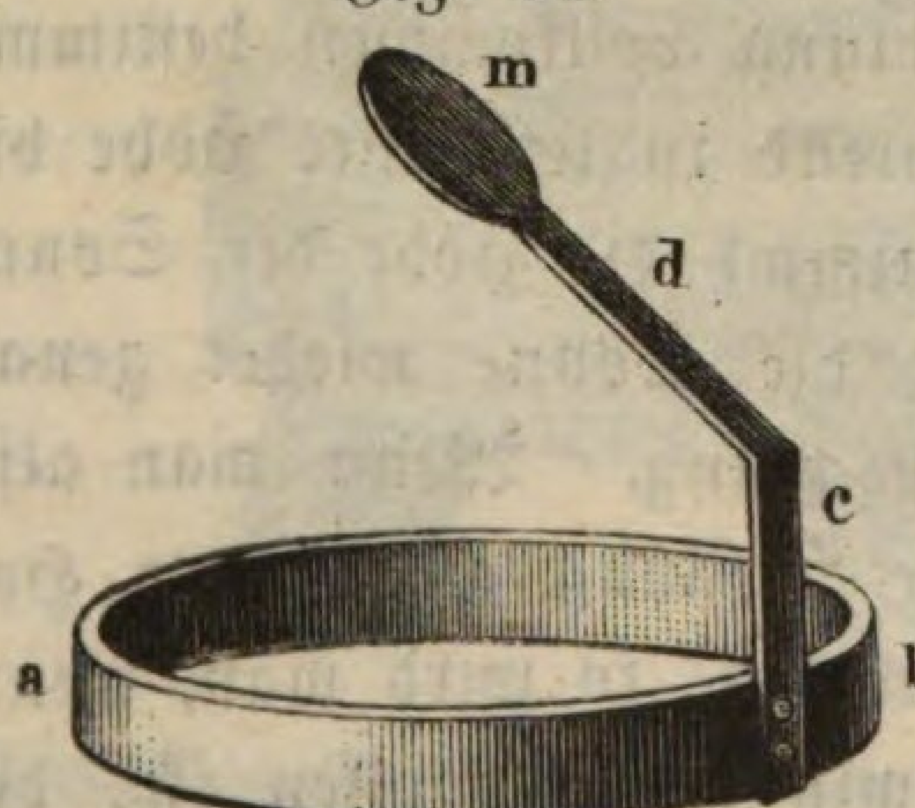
Hat z. B. der Nonius des Alhidadenkreises bei der Morgensbeobachtung auf 152° gestanden, bei der Nachmittagsbeobachtung aber auf 226°, so wird sich die Ebene des Fernrohrs und des Höhenkreises im Meridian befinden, wenn man den Alhidadenkreis so stellt, daß der Nonius desselben auf 189° zu stehen kommt.

Wegen der von der täglichen Bewegung unabhängigen Ortsveränderung der Sonne am Himmelsgewölbe (die wir im dritten Capitel näher besprechen werden) giebt diese Bestimmungsweise des Meridians mittelst correspondirender Sonnenhöhen nur dann genaue Resultate, wenn man die Beobachtung um die Zeit der längsten oder der kürzesten Tage anstellt. Am fehlerhaftesten wird das Resultat zur Zeit der Tag- und Nachtgleichen. Von diesem Uebelstande ist nun die Bestimmung des Meridians durch correspondirende Sternhöhen ganz frei. Das Verfahren ist genau dasselbe, wie wir es für die Sonne kennen gelernt haben; nur stellt man nicht auf den Gipfel des Sonnenrandes, sondern auf den zu beobachtenden Stern ein.

Es ist leicht, zur Nachtzeit irgend einen Stern erster, zweiter oder auch dritter Größe in das Gesichtsfeld des Fernrohrs zu bringen; zur Nachtzeit aber ist das Fadenkreuz, welches bei Tage scharf vor dem hellen Hintergrunde erscheint, ganz unsichtbar, wenn man es nicht auf künstliche Weise erleuchtet.

Zur Beleuchtung des Fadenkreuzes in Theodolitfernrohren dürfte wohl folgende Methode die geeignetste sein: Auf das Objectivende des Fernrohrs wird ein leichter Messingring *ab*, Fig. 14, aufgeschoben; an diesem ist ein Messingstäbchen *cd* befestigt, welches gerade der Mitte des Ringes *ab* gegenüber ein elliptisches Metallblättchen *m* trägt. Dieses Metallblättchen ist auf der dem Ringe *ab* zugewandten Seite weiß angestrichen. Durch eine in der Nähe seitlich aufgestellte Kerzenflamme wird diese kleine weiße Fläche erhellt und wirft dann hinlänglich Licht in das Fernrohr, um das Fadenkreuz zu erleuchten, welches nun hell auf dunklem Grunde erscheint. Von dem Sterne fallen nun noch hinlänglich viel Strahlen neben dem Blättchen *m* vorbei auf das Objectiv des Fernrohrs, um ein deutliches Bild des Sternes zu geben.

Fig. 14.



Auch correspondirende Höhen von Circumpolarsternen in der Nähe ihrer unteren Culmination kann man zur Bestimmung des Meridians anwenden.

Hat man einmal nach der angegebenen Methode den Punkt des Limbus ermittelt, auf welchen man den Nonius der Alhidade einstellen muß, damit die verticale Drehungsebene des Fernrohrs mit der Ebene des Meridians zusammenfällt, so bleibt noch übrig, die Richtung der Mittagslinie ein- für allemal zu

fixiren, damit man das Instrument wieder wegnehmen kann, ohne bei einer späteren Aufstellung an derselben Stelle den Meridian von Neuem bestimmen zu müssen.

Die Fixirung der Mittagslinie geschieht dadurch, daß man das in die Ebene des Meridians gebrachte Fernrohr gegen den Horizont neigt und nun sieht, ob sich auf demselben oder auf der Erdoberfläche nicht irgend ein Gegenstand, etwa eine Thurmspitze, eine Mauerkante, eine Giebelspitze, ein Blitzableiter u. s. w., findet, welcher gerade im Meridian liegt, welcher also den Kreuzungspunkt des Fadenkreuzes passirt, wenn man es um seine horizontale Axe dreht. Ein solcher Punkt wird nun das Meridianzeichen genannt. Eine verticale Ebene, welche durch den Aufstellungsort des Instrumentes und das Meridianzeichen geht, ist die Ebene des Meridians.

Wenn sich kein passendes Meridianzeichen vorfindet, so muß man ein solches herrichten, indem man etwa einen verticalen Strich an der Wand eines passend gelegenen Hauses zieht. Das zweckmäßigste Meridianzeichen ist aber immer ein ungefähr 3 Fuß langer, in halbe Zolle (oder nach Umständen noch in kleinere Theile) getheilter Maßstab, welchen man in horizontaler Lage und in entsprechender Entfernung so befestigt, daß die Meridianebene des Instrumentes seine Länge ungefähr halbirt. Ist dieser Maßstab einmal gehörig befestigt, so kann man durch später wiederholte Bestimmungen der Meridianebene leicht ermitteln, welcher Theilstrich desselben es eigentlich sei, der genau die Richtung der Mittagslinie bezeichnet.

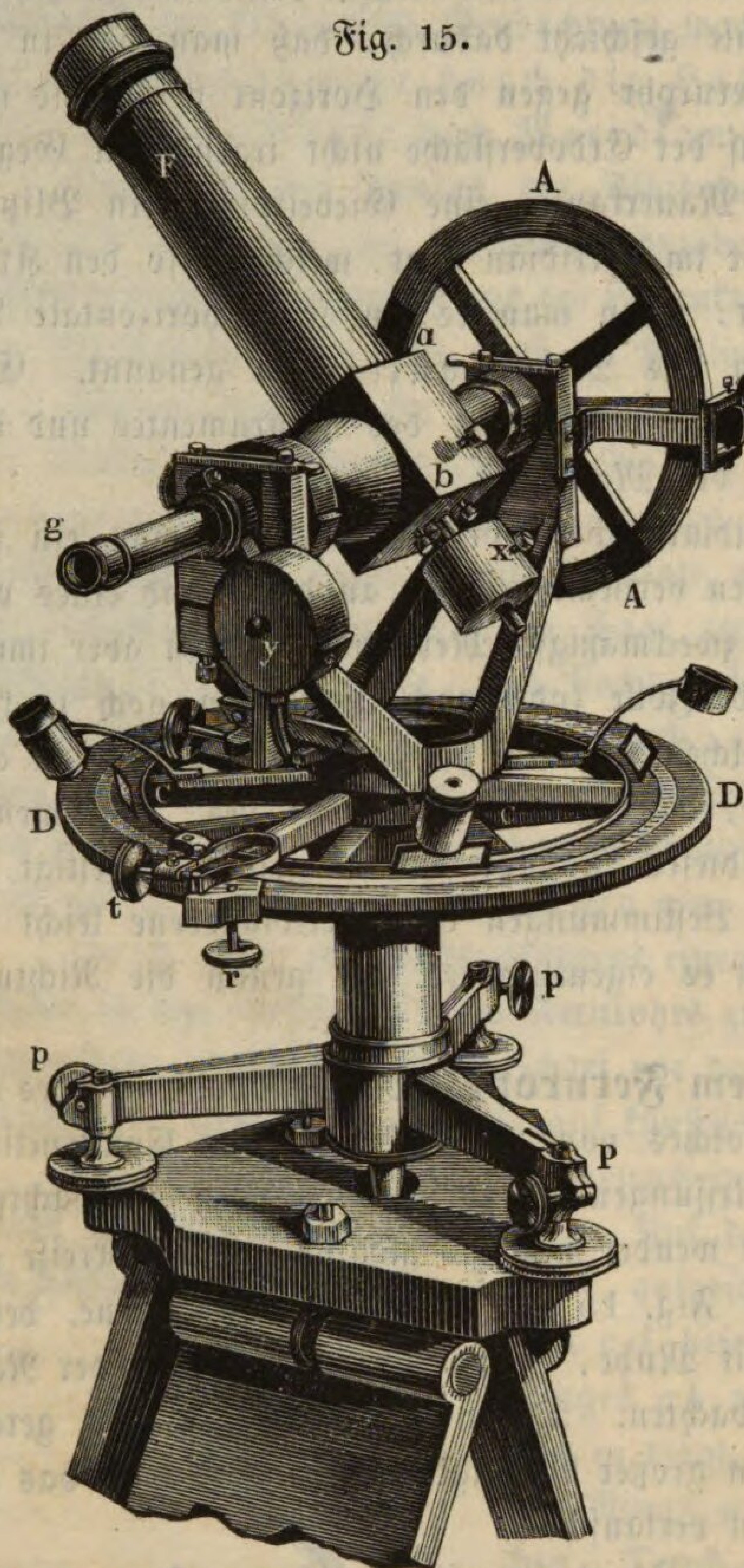
Theodolit mit gebrochenem Fernrohr. Das Theodolit, welches wir in §. 9 kennen lernten, ist ein solches von möglichst einfacher Construction, wie man sie mehr zu geodätischen Messungen als zu astronomischen Beobachtungen anwendet. Zu letzterem Zwecke wendet man wo möglich größere Kreise an. Durch das Fernrohr des Theodolits Fig. 15 (a. f. S.) kann man Sterne, deren Höhe 45 bis 50° beträgt, nur mit Mühe, solche aber, die sich in der Nähe des Zenith befinden, gar nicht beobachten. Da nun die Beobachtung gerade dieser Sterne in manchen Fällen von großer Wichtigkeit ist, so hat man das gerade Fernrohr mit einem gebrochenen vertauscht. 11

Fig. 15 stellt ein etwas größeres Theodolit mit gebrochenem Fernrohr dar. Alle Theile dieses Instrumentes, welche auch an dem Theodolit Fig. 12 vorkommen, sind mit den gleichen Buchstaben bezeichnet. So ist *A* der Höhenkreis, *F* das Fernrohr, *f* der eine Nonius des Höhenkreises. *C* ist der Alhidadenkreis, welcher hier in der Mitte durchbrochen ist; *D* ist der Limbus. Die Alhidade *h* ist hier mit 4 Nonien versehen. Ueber jedem dieser Nonien ist ein kleiner Schirm von durchscheinendem Papiere angebracht, was eine bessere Beobachtung des Nonius bewirkt. Die Nonien werden nicht mit bloßem Auge, sondern durch Lupen abgelesen.

Die Einrichtung des gebrochenen Fernrohrs ist folgende: Das Ocularende *g* des Rohres macht einen rechten Winkel mit dem Objectivende *F*. Beide Enden sitzen auf einem würfelförmigen hohlen Körper, in dessen Innerm sich ein Spiegel befindet, welcher sowohl gegen die Axe des Objectivendes als auch gegen die Axe des Ocularendes um 45° geneigt ist. Dieser Spiegel wird durch ein

rechtwinkliges, gleichschenkliges Glasprisma gebildet, dessen eine Kathetenfläche gegen das Objectiv, die andere gegen das Ocular gerichtet ist, während die Hypothenusenfläche die Richtung der Diagonalen *ab* hat. Die vom Objectiv kommenden Strahlen treten an der Vorderfläche dieses Prismas ein, ohne eine merkliche Ablenkung zu erfahren; an der 45° gegen die Axe des Objectivs geneigten Hinterfläche erleiden sie eine totale Reflexion (Lehrb. d. Phys. Bd. I. S. 398) und gelangen so, nachdem sie an der zweiten Kathetenfläche fast ohne Ablenkung ausgetreten sind, zu dem Ocular. Das Ocularende des Fernrohrs bildet nun selbst ein Stück der horizontalen Umdrehungsaxe des Höhenkreises, man mag also das Objectivende des Fernrohrs um diese Axe drehen, wie man will, so bleibt doch die Stellung des Oculars ungeändert; man kann also mit gleicher Bequemlichkeit alle Sterne beobachten, welches auch ihre Höhe sein mag.

Fig. 15.



Die Metallmassen *x* und *y* dienen nur als Gegengewicht für das Objectivende des Fernrohrs.

Mit einem solchen Instrumente kann man nun die Mittagslinie noch weit genauer bestimmen, als es nach der Methode der correspondirenden Höhen möglich ist. Das Instrument wird an einem Orte aufgestellt, an welchem die Aussicht nach Norden hin bis nahe zum Zenith frei ist. Der Azimutalkreis wird dann so eingestellt, daß die Verticalebene des Fernrohrs nahezu mit dem Meridian zusammenfällt, und nun beobachtet man an einer gleichförmig gehenden Uhr die Zeiten der auf einander folgenden oberen und unteren Culmination eines Circumpolarsternes, d. h. die Zeit, in welcher der Stern in seiner größten Höhe den verticalen Faden des Fadenkreuzes passirt, und dann wieder den Zeitpunkt, in welchem derselbe Stern in seiner tiefsten Stellung das Fadenkreuz passirt. Wenn die verticale Drehungsebene des Fernrohrs genau in den Meridian fällt, so muß die von einem Beobachtungsmoment zum anderen verstrichene Zeit genau

12 Sternstunden betragen. Ist dies nicht der Fall, so ist dies ein Beweis, daß die Verticale des Fernrohrs noch einen Winkel mit dem Meridian macht. Beträgt die Zeit von der oberen bis zur unteren Culmination weniger als 12 Sternstunden, so muß die Alhidade ein wenig in der Richtung von West nach Nord gedreht werden, um die Drehungsebene des Fernrohrs in den Meridian zu bringen; nach der entgegengesetzten Seite aber, wenn die Zeit von der oberen bis zur unteren Culmination mehr als 12 Sternstunden beträgt.

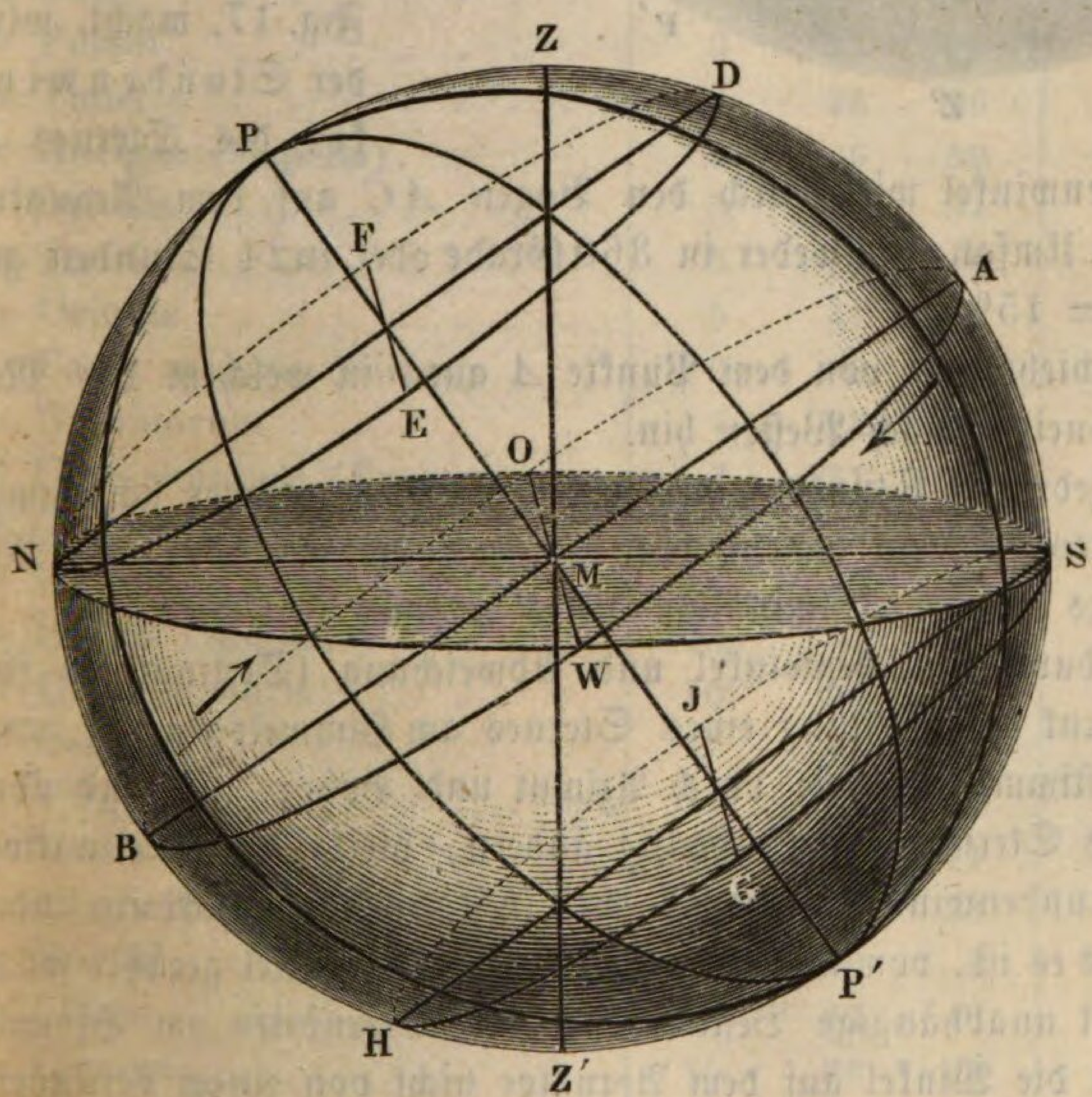
Hätte man z. B. beobachtet

die obere Culmination des Polarsterns	0^h	58′	20″,
die untere » » »	12	58	50,

so würde man aus diesen Beobachtungen schließen, daß man den Azimutalkreis um einen ganz kleinen Winkel (den man auch berechnen kann) in der Richtung von Ost nach Nord hin drehen müsse, um die verticale Drehungsebene des Fernrohrs in den Meridian zu bringen.

Declination, Stundenwinkel und Rectascension. Alle durch die 12
Weltaxe *PP′*, Fig. 16, gelegten Ebenen schneiden die Himmelskugel in größten Kreisen, welche den Namen der Declinationskreise oder der Stundenkreise führen. Durch jeden Stern kann man sich einen Stundenkreis gelegt denken und alle diese Stundenkreise stehen rechtwinklig auf der Ebene des Aequators. Der Viertelskreis *PEC*, Fig. 17, ist ein Theil des dem Sterne *E* angehörigen Stundenkreises. Dasjenige Bogenstück *EC* des Stundenkreises, welches zwischen dem Sterne und dem Aequator liegt, heißt die Declination oder die Abweichung des Sternes.

Fig. 16.



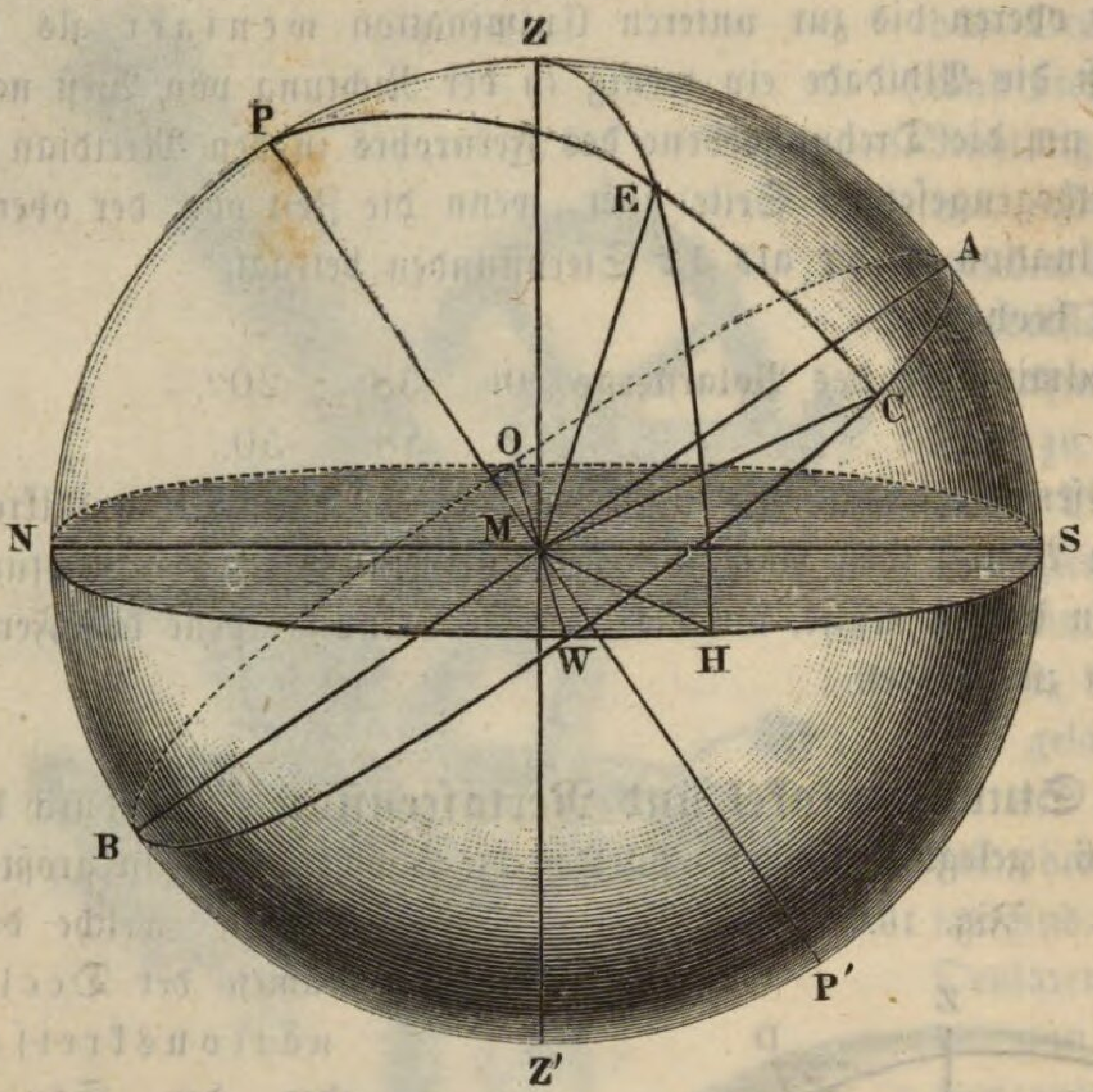
Die Declination eines Sternes ist nördlich oder südlich, je nachdem derselbe auf der nördlichen oder südlichen Halbkugel des Himmels liegt.

Der Bogen *PE* vom Sterne bis zum Pol heißt die Poldistanz. Poldistanz und Abweichung ergänzen sich zu 90°.

Während der täglichen Bewegung des Himmels ändert sich die Declination

der Gestirne nicht; die Abweichung eines Fixsternes ist also eine unveränderliche Größe, weil ja jeder Stern einen Kreis beschreibt, welcher mit dem Aequator parallel ist.

Fig. 17.



Alle solche Kreise, welche man sich auf der Himmelskugel parallel mit dem Aequator gezogen denkt, werden **Parallelkreise** genannt.

Der Winkel, welchen der Stundenkreis *PEC* des Sternes *E* mit dem Meridian *PZA*, Fig. 17, macht, wird der **Stundenwinkel** des Sternes *E* genannt. Der Stundenwinkel wird durch den Bogen *AC* auf dem Aequator gemessen, dessen ganzer Umfang entweder in 360 Grade oder in 24 Stunden getheilt ist, so daß $1^h = 15^0$.

Die Zählung geschieht stets von dem Punkte *A* aus, in welchem der Meridian den Aequator schneidet, nach Westen hin.

Der in Zeit ausgedrückte Stundenwinkel eines Sternes, welcher sich immer nur auf einen bestimmten Moment bezieht, sagt aus, wie viel Stunden und Minuten (Sternzeit) bereits seit der Culmination dieses Sternes verflossen sind.

Es ist klar, daß durch Stundenwinkel und Abweichung (Declination) für einen bestimmten Moment die Stellung eines Sternes am Himmelsgewölbe ganz in ähnlicher Weise bestimmt ist, wie durch Azimut und Höhe; während aber Höhe und Azimut eines Sternes sich gleichzeitig ändern, bleibt die Declination constant und nur der Stundenwinkel ändert sich, weil in jedem Augenblicke ein anderer Punkt des Aequators es ist, von welchem aus der Stundenwinkel gezählt wird.

Eine von der Zeit unabhängige Bestimmung der Sternörter am Himmel erhält man, wenn man die Winkel auf dem Aequator nicht von einem veränderlichen Punkte aus zählt, sondern von einem Punkte, welcher eine feste Stellung auf dem Aequator, also mit der ganzen Himmelskugel die tägliche Bewegung gemeinschaftlich hat. Zum Ausgangspunkte dieser Winkelzählung hat man den schon Seite 11 erwähnten **Frühlingspunkt** gewählt. Wir werden im dritten Capitel sehen, auf welche Weise dieser Punkt genau bestimmt werden kann.

Der in der Richtung von **Süd nach Ost** u. s. w. auf dem Aequator gezählte Winkel vom Frühlingspunkte bis zu dem Punkte, in welchem der Stunden-

kreis eines Sternes den Aequator trifft, wird die Rectascension oder die gerade Aufsteigung des Sternes genannt. Durch Rectascension und Declination ist die Stelle eines Sternes am Himmel vollkommen bestimmt.

Die Rectascension wird entweder in Graden oder in Stunden und Minuten ausgedrückt, wie wir dies schon beim Stundenwinkel gesehen haben. Die in Zeit ausgedrückte Rectascension eines Sternes giebt an, wie viel Stunden und Minuten (Sternzeit) der fragliche Stern später culminirt als der Frühlingspunkt.

Folgendes ist die Rectascension (gerade Aufsteigung) und die Declination (Abweichung) einiger der ausgezeichnetsten Sterne.

Namen.	Gerade Aufsteigung.			Abweichung.		
α Andromedae	0h	1'	—"	+ 28°	17'	—"
α Arietis	1	59	—	+ 22	46	—
α Ceti	2	55	42	+ 3	31	3
α Persei	3	14	—	+ 49	20	—
α Tauri	4	28	36	+ 16	12	49
α Aurigae (Capella)	5	6	59	+ 45	50	42
β Orionis	5	7	34	— 8	22	23
β Tauri	5	17	8	+ 28	28	47
α Orionis	5	47	19	+ 7	22	32
α Canis majoris (Sirius)	6	38	45	— 16	31	16
α Geminorum	7	25	20	+ 32	12	6
α Canis minoris (Procyon)	7	31	42	+ 5	35	32
β Geminorum	7	36	26	+ 28	22	19
α Hydrae	9	20	28	— 8	1	58
α Leonis (Regulus)	10	—	39	+ 12	40	26
α Ursae majoris	10	54	44	+ 62	31	57
β Leonis	11	41	39	+ 15	22	57
β Virginis	11	43	8	+ 2	34	52
γ Ursae majoris	11	46	11	+ 54	30	2
α Virginis (Spica)	13	17	33	— 10	24	13
α Bootis	14	9	3	+ 19	56	21
α Librae	14	42	40	— 15	23	30
α Coronae	15	28	33	+ 27	12	19
α Scorpii	16	20	31	— 26	6	23
α Lyrae (Wega)	18	32	2	+ 38	39	3
α Aquilae (Atair)	19	43	42	+ 8	29	18
α Cygni	20	36	29	+ 44	45	49
α Piscis australis	22	49	38	— 30	23	28
α Ursae minoris (Polaris)	1	6	30	+ 88	32	11

Das Zeichen + bezeichnet eine nördliche, — eine südliche Declination.

Auf Himmelsgloben findet man in der That den Aequator entweder in 360 Grade oder in 24 Stunden ($1^h = 15^0$) und Minuten getheilt. Der Nullpunkt dieser Theilung ist der Frühlingspunkt. Der durch den Frühlingspunkt gezogene Stundenkreis ist dann abermals in Grade getheilt, so daß 90 Grade auf den Bogen vom Frühlingspunkte bis zum Nordpol und 90 Grade auf den Bogen vom Frühlingspunkte bis zum Südpol gezählt sind. Auf diesem Stundenkreise kann dann die Declination für jeden einzelnen Parallelkreis abgelesen werden.

In der Sternkarte Tab. IV. erscheint der Aequator als gerade Linie; man sieht ihn hier in 360 Grade getheilt. Die entsprechende Theilung in Stunden und Minuten findet sich am unteren Rande der Karte. Auf der, durch den Nullpunkt der Theilung des Aequators (den Frühlingspunkt) gelegten Verticalen findet man dann eine weitere Theilung, durch welche die Declinationen gemessen werden.

Auf der Karte Tab. III. kann man die Rectascensionen am Rande, die Declinationen auf der vom Nordpol nach dem Nullpunkte der Theilung am Rande gezogenen geraden Linie ablesen.

Nach diesen Erläuterungen wird es eine zweckmäßige Uebung sein, nach den in der obigen Tabelle mitgetheilten Werthen der geraden Aufsteigung und der Abweichung die dort verzeichneten Sterne aufzusuchen.

Es sei z. B. auf Tab. IV. α leonis aufzusuchen. Seine Rectascension ist 10^h (die Secunden müssen bei der Kleinheit der Karte unberücksichtigt bleiben) oder 150^0; man geht also vom Frühlingspunkt aus auf dem Aequator nach der Linken bis zu dem mit 150 bezeichneten Punkte, errichtet in demselben ein Perpendikel, auf welchem man dann mit dem Zirkel die Declination von $12^3/_4$ Grad nach Norden abzumessen hat, um den Ort des Regulus zu finden.

13 **Mittagsrohr und Mittagskreis.** Wir müssen nun sehen, auf welche Weise Rectascension und Declination der Gestirne mit Genauigkeit ermittelt werden kann.

Wenn ein Theodolit so aufgestellt ist, daß die verticale Ebene, in welcher sich das Fernrohr drehen kann, genau in die Ebene des Meridians fällt, so kann man an diesem Instrumente mit Hülfe einer guten Uhr genau den Zeitpunkt beobachten, an welchem irgend ein bestimmter Fixstern den Meridian passirt.

Man kann eine solche Beobachtung selbst bei Tage machen; denn obgleich man, während die Sonne am Himmel ist, die Sterne mit bloßem Auge nicht sieht, so sind doch durch ein Fernrohr bei Tage Sterne erster, zweiter, ja selbst dritter Größe sichtbar.

Hat man nun an einem Tage die Culmination zweier Sterne beobachtet, so ist die Zeit (nach Sternzeit gemessen), welche zwischen der Culmination des ersten und der des zweiten verstreicht, die in Zeit ausgedrückte Differenz der Rectascensionen beider Sterne.

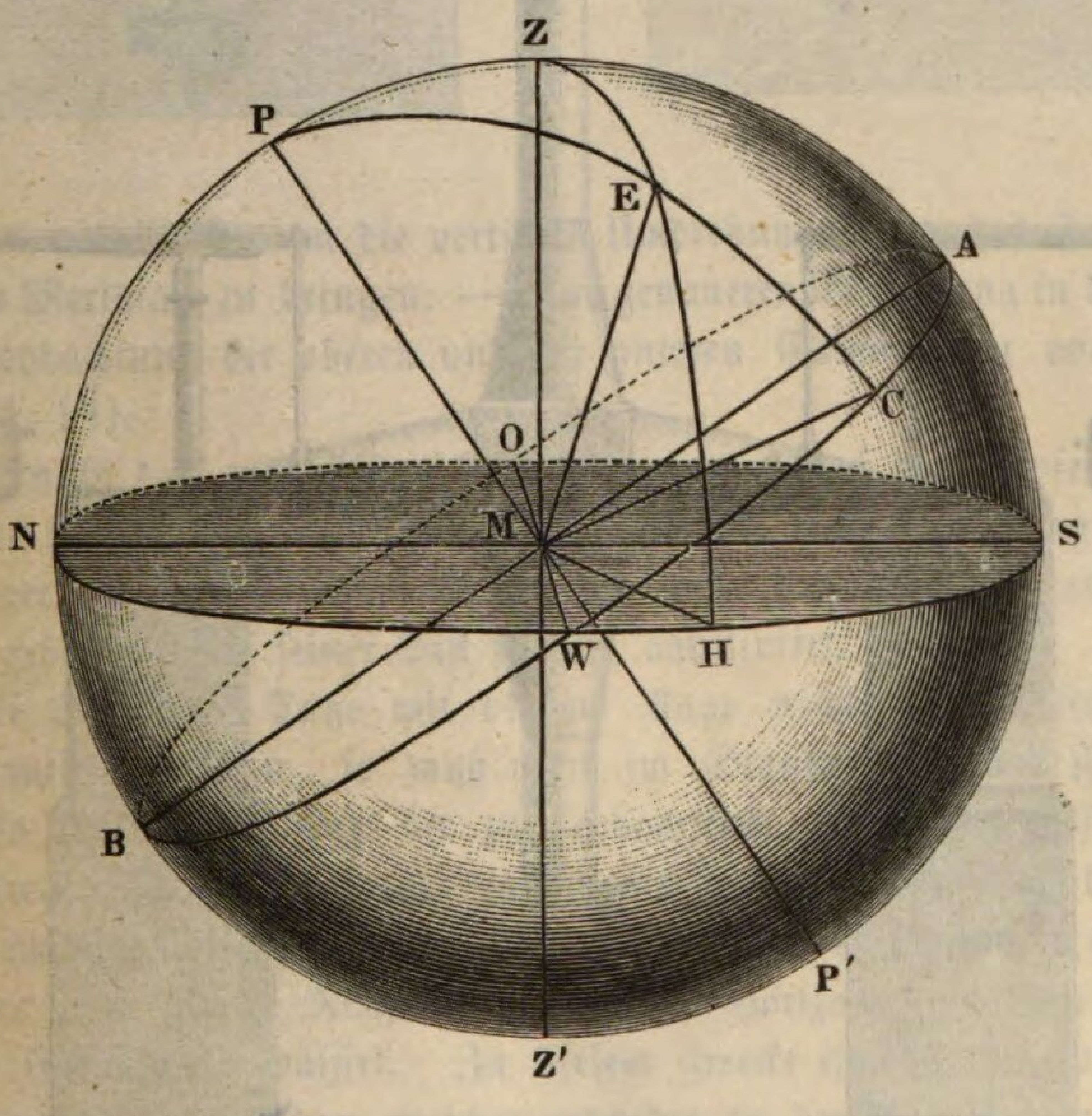
Hätte man z. B. an einem bestimmten Tage die Culmination von α **arietis** an einer nach mittlerer Sonnenzeit gehenden Uhr um 4^h $30'$ $18''$ Nachmittags beobachtet, die Culmination von α tauri aber um 6^h $58'$ $28''$, so ist der

fragliche Zeitunterschied 2 h 28′ 10″ mittlerer Sonnenzeit oder 2h 28′ 35″ Sternzeit. Die Rectascension von α tauri wäre demnach 2h 28′ 35″ oder als Winkel ausgedrückt 37° 9′ 45″ größer als die Rectascension von α arietis, d. h. mit anderen Worten, der Stundenkreis von α arietis macht mit dem Stundenkreise von α tauri einen Winkel von 37° 9′ 45″.

Ist also nur für einen einzigen Stern die Rectascension, d. h. der Abstand seines Stundenkreises vom Frühlingspunkte bekannt, so kann man, von diesem Sterne ausgehend, nach der eben angegebenen Weise leicht die Rectascension aller übrigen Sterne ermitteln. Auf welche Weise aber der Abstand irgend eines Stundenkreises vom Frühlingspunkte bestimmt wird, das kann erst im dritten Capitel besprochen werden.

Um die Declination eines Sternes zu bestimmen, hat man nur das Fernrohr so zu richten, daß der Stern zur Zeit seiner Culmination gerade hinter dem horizontalen Faden des Fernrohrs steht, und dann die Höhe des Sternes an dem Verticalkreise abzulesen; zieht man von dieser Höhe den Winkel ab, welchen der Aequator mit dem Horizont macht, also den Bogen AS, Fig. 18, so erhält man die Declination des Sternes.

Fig. 18.



Es ist $AS = PZ = 90° - NP$, d. h. 90° — der Polhöhe, wenn man den Bogen NP oder den Winkel NMP, welchen die Weltaxe mit dem Horizont macht, die Polhöhe nennt.

Gesetzt, man habe an einem Ort, für welchen die Polhöhe gerade 50° beträgt, die Höhe von α tauri zur Zeit der Culmination gleich 56° 12′ 49″ gefunden, so ist die Declination dieses Sternes gleich 56° 12′ 49″ — 40° =

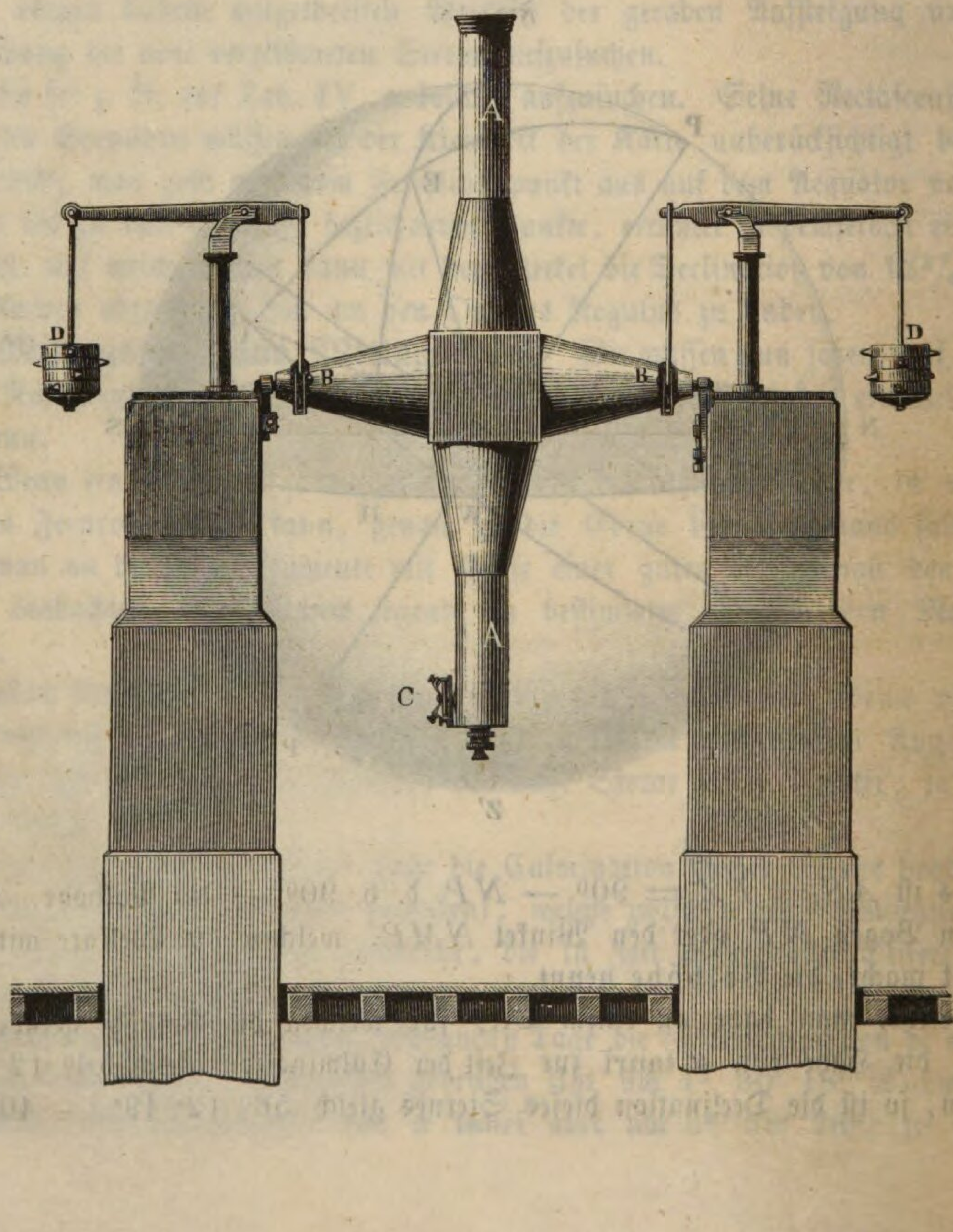
$16^0\ 12'\ 49''$; denn wenn die Polhöhe PN 50^0 beträgt, so ist $PZ = AS = 40^0$.

Da die Bestimmung der Declination und Rectascension der Gestirne durch Beobachtungen im Meridian zu den wichtigsten Aufgaben der praktischen Astronomie gehört, so wendet man zu diesem Zwecke auf größeren Sternwarten nicht das Theodolit an, dessen Horizontalkreis hier ohnehin entbehrlich ist, sondern andere lediglich zu diesem Zwecke dienende Instrumente, welche den Namen des Mittagskreises und des Passageinstrumentes führen.

Der Mittagskreis oder Meridiankreis ist ein mit einem Fernrohr verbundener Höhenkreis von bedeutenden Dimensionen (man hat solche von 3 bis zu 6 Fuß Durchmesser), der nur in der Ebene des Meridians drehbar ist. Soll das Instrument lediglich zur Bestimmung der Rectascension dienen, so kann auch der Höhenkreis wegfallen, es bedarf dann nur eines in der Meridianebene drehbaren Fernrohrs, welches dann ein Mittagsrohr oder Passageinstrument genannt wird.

Fig. 19 stellt ein Passageinstrument dar. AA ist das Fernrohr, welches

Fig. 19.



um eine horizontale Axe *B* gedreht werden kann, die in zwei cylindrischen Zapfen endigt. Diese Zapfen ruhen auf Lagern, welche von massiven steinernen Pfeilern getragen werden. Diese Pfeiler sind für sich besonders fundamentirt und stehen mit dem übrigen Gebäude, in welchem das Passageinstrument aufgestellt ist, in keiner Verbindung; sie gehen frei durch den Fußboden des Zimmers hindurch, dessen Schwankungen und zufällige Bewegungen also gar keinen Einfluß auf das Instrument haben können.

Die Einrichtung der Zapfenlager für die Axe *B* ist aus Fig. 20 und Fig. 21 zu ersehen. Das eine, Fig. 20, ist mittelst einer Schraube in verticaler Richtung verschiebbar, um eine vollkommene Horizontalität der Axe *B* herstellen zu können; das andere, Fig. 21, kann dagegen in horizontaler Richtung verschoben

Fig. 20.

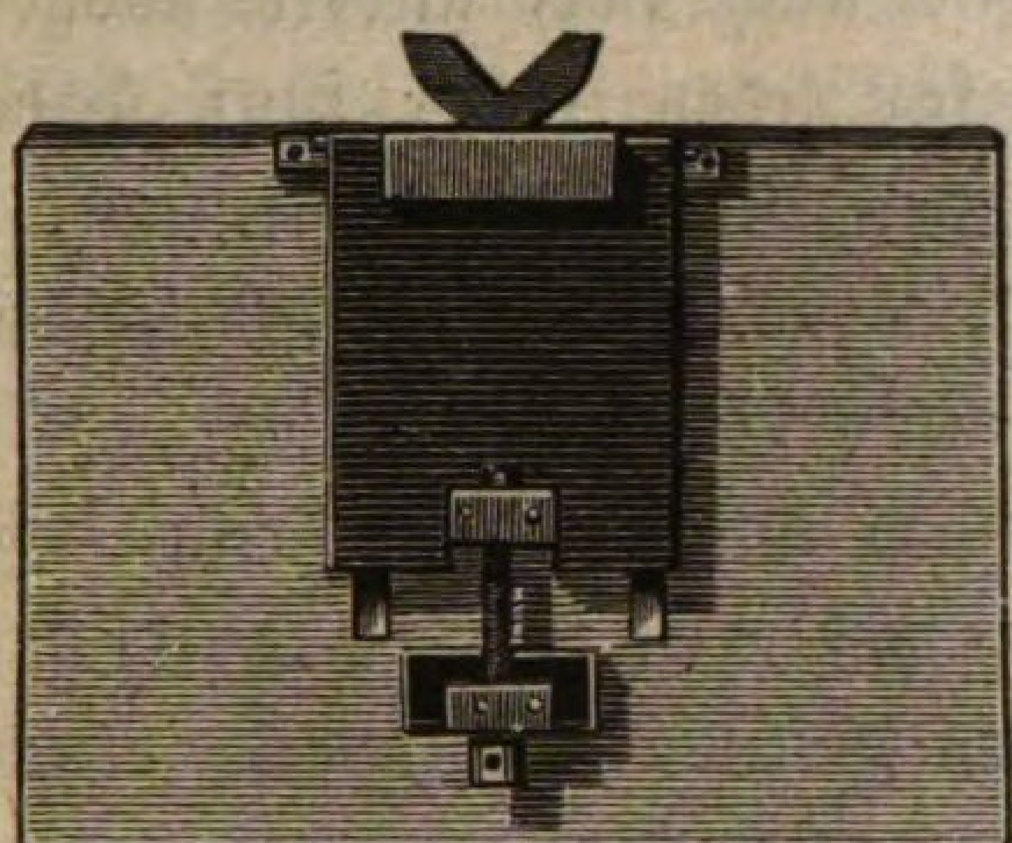
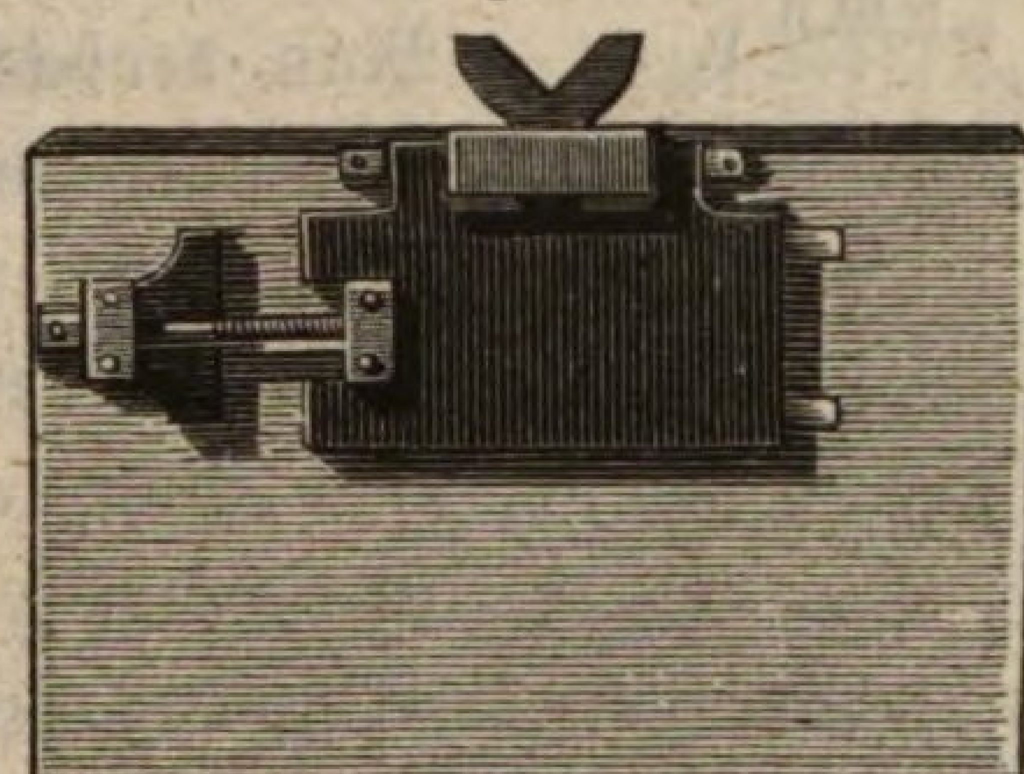


Fig. 21.



werden, was nöthig ist, um die verticale Umdrehungsebene des Fernrohrs g e n a u in den Meridian zu bringen. — Zur genaueren Einstellung in den Meridian dient die Beobachtung der oberen und der unteren Culmination von Circumpolarsternen (§. 11).

Damit nicht das ganze Gewicht des Fernrohrs auf den Zapfenlagern ruht, wodurch eine bedeutende Reibung und mit der Zeit eine Abnutzung der Zapfen und der Lager entstehen würde, ist das Fernrohr durch die Gegengewichte *D*, welche den größten Theil seiner Last tragen, äquilibrirt.

Da die Sterne bei Tage mit bloßem Auge nicht sichtbar sind, man sie also nicht aufsuchen kann, so muß man im Stande sein, das Fernrohr auch ohne dies so zu richten, daß der zu beobachtende Stern im Gesichtsfelde des Fernrohrs liegt. Man weiß vorher nahezu, in welcher Höhe über dem Horizont sich derselbe im Augenblick seiner Culmination befindet, man braucht also nur dem Mittagsrohre eine gleiche Neigung gegen den Horizont zu geben, damit der Stern das Gesichtsfeld passirt. Zu diesem Zwecke ist das Fernrohr mit einem kleinen Höhenkreise verbunden, welcher entweder an der Axe *B* oder, wie es unsere Figur zeigt, seitwärts am Rohre bei *C* angebracht ist. Ein solcher kleiner Kreis dient lediglich zum Richten des Fernrohrs, und nicht zum Messen der Declination.

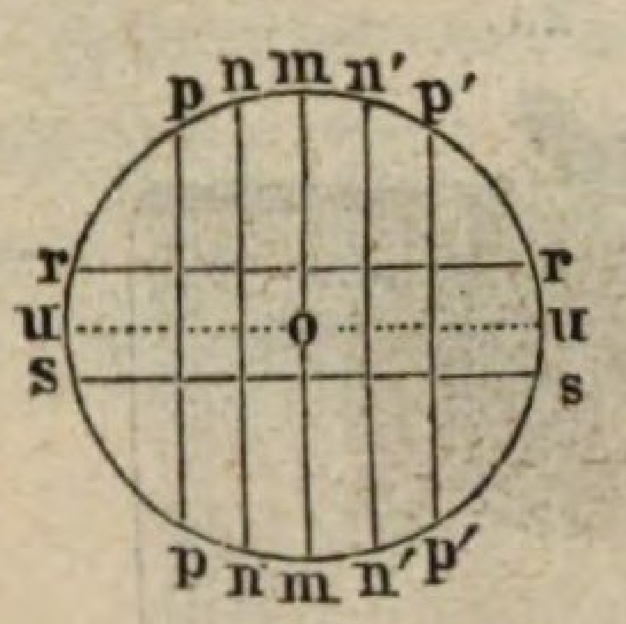
Das Passageinstrument wird stets in Verbindung mit einer Pendeluhr von großer Genauigkeit gebraucht, deren Pendelschläge deutlich hörbar sind. Einige Zeit, bevor der Stern den verticalen Faden erreicht, schaut der Beobachter nach

der Uhr, um sich die Stellung der Zeiger zu merken, und zählt dann, in das Fernrohr blickend, die Secunden nach dem Schlage der Uhr weiter, bis zum Moment, wo er den Stern den verticalen Faden passiren sieht.

Auf diese Weise erhält man den Moment der Culmination ungefähr auf 1 Secunde genau. Da nun aber 1 Zeitsecunde 15 Bogensecunden entspricht, so reicht eine solche Genauigkeit für astronomische Bestimmungen nicht hin, und der Beobachter muß noch Bruchtheile der Secunde zu schätzen suchen, worin man durch Uebung eine große Fertigkeit erlangen kann.

Um eine größere Genauigkeit der Resultate zu erlangen, hat man das einfache Fadenkreuz, wie wir es S. 23 kennen gelernt haben, durch eine Reihe von Fäden ersetzt, welche so geordnet sind, wie man Fig. 22 sieht. Neben dem mittleren verticalen Faden sind nämlich in gleichen Abständen auf jeder Seite noch zwei andere ausgespannt. Man beobachtet nun für jeden dieser fünf Fäden den Zeitpunkt, in welchem der Stern ihn passirt, und nimmt dann aus jenen fünf Beobachtungen das Mittel als den Zeitpunkt der Culmination des Sternes.

Fig. 22.



Von der größten Wichtigkeit für Rectascensionsbestimmungen sind die galvanisch registrirenden Uhren, welche von dem Amerikaner Locke zuerst in Anwendung gebracht wurden. Wird bei jedem Schlage des Pendels einer astronomischen Uhr die galvanische Kette geschlossen, in deren Schließungsbogen eine dem Morse'schen Telegraphen ähnliche Vorrichtung eingeschaltet ist, so wird der Stift bei jedem Secundenschlage einen Punkt auf dem mit gleichmäßiger Geschwindigkeit vorwärts bewegten Papierstreifen machen. Beim Locke'schen Apparate ging der Papierstreifen mit einer solchen Geschwindigkeit voran, daß die Secundenpunkte ungefähr einen Zoll von einander abstanden.

Neben dem Elektromagneten dieses Schreibapparates ist aber noch ein zweiter angebracht, dessen Windungen einer anderen Kette angehören, welche der Beobachter beliebig schließen kann, indem er mit dem Finger eine Taste anschlägt. Durch die Schließung dieser zweiten Kette wird nun gleichfalls ein Stift gegen den Papierstreifen gedrückt; bei wiederholtem Anschlagen entsteht so auf dem Papierstreifen neben der ersten Reihe von Punkten, den Secundenpunkten, eine zweite, welche wir Beobachtungspunkte nennen wollen.

Um den Moment einer Sternculmination zu erhalten, schaut der Beobachter in das Fernrohr, während er den Finger über die Taste hält, die er in dem Momente niederdrückt, in welchem der Stern hinter den Faden tritt. Auf diese Weise wird der Beobachtungsmoment auf dem Papierstreifen markirt.

Steht der Beobachtungspunkt neben einem Secundenpunkte, so ist der Beobachtungsmoment genau durch eine ganze Secundenzahl gegeben. Trifft der Beobachtungspunkt nicht neben einem Secundenpunkte, sondern zwischen zwei Secunden ein, so kann man mit dem Zirkel die Entfernung auf dem Papierstreifen abmessen und danach (mittelst einer Scala) bestimmen, wieviel Zehntel und, wenn man will, Hundertel einer Secunde noch zu der nächst vor-

hergehenden Secunde hinzukommen. So ist es möglich, den Zeitpunkt einer Beobachtung bis auf Hundertel-Secunden genau zu ermitteln.

Die große Genauigkeit der Ablesung ist ein wesentlicher Vorzug der galvanisch registrirenden Uhr, außerdem aber gestattet diese Methode noch in gleicher Zeit ungleich mehr Beobachtungen anzustellen, als es vorher möglich war.

Bisher mußte man die Uhr immer neben sich haben, um den Secundenschlag zu hören; konnte eine Beobachtung nicht gerade in der unmittelbaren Nähe der Uhr gemacht werden, so war dies, selbst wo alle Hülfsmittel gegeben waren, eine sehr umständliche Sache; bei einer registrirenden Uhr dagegen ist es ganz gleichgültig, wo sie steht, da man die Drahtleitung leicht durch alle Zimmer einer Sternwarte führen kann; es ist nicht einmal erforderlich, daß die astronomische Uhr im Beobachtungssaale selbst ihren Platz habe, vielmehr erscheint es zweckmäßiger, sie in einem Wohnzimmer oder Büreau — natürlich an einem isolirten Pfeiler — aufzustellen, wo sie keiner großen Temperaturveränderung ausgesetzt ist und einen gleichmäßigen Gang einhalten kann.

Eine registrirende Uhr läßt sich ferner noch mit dem elektrischen Telegraphen in Verbindung bringen und zu mannigfaltigen Zwecken benutzen. Dieselbe Uhr kann z. B. einen Registrirapparat an der Münchener und einen an der Wiener Sternwarte haben, und wenn an beiden Orten der Durchgang derselben Sterne durch den Meridian beobachtet wird, so läßt sich daraus mit einer bisher nie erreichten Sicherheit die geographische Längendifferenz ableiten.

Lamont hat diesen Apparat sehr verbessert. Den Papierstreifen ersetzte er durch eine mit Ruß geschwärzte Metalltrommel, welche durch ein Uhrwerk mit gleichförmiger Geschwindigkeit um eine horizontale Axe gedreht wird. Auf beiden Seiten der Walze ragt die stählerne Umdrehungsaxe vor und ruht auf zwei messingenen Lagern. Die eine Hälfte dieser Axe ist nun mit einem Schraubengewinde versehen, so daß beim Umdrehen der Walze auch ein gleichförmiges Fortschieben derselben in der Richtung ihrer Längenaxe stattfindet; die Secundenpunkte, welche durch einen in Folge der Schließung der Kette an die Walze angedrückten Stift hervorgebracht werden, bilden demnach auf derselben eine Spirale. Die Beobachtungspunkte werden durch einen dicht neben dem ersteren angebrachten Stift markirt.

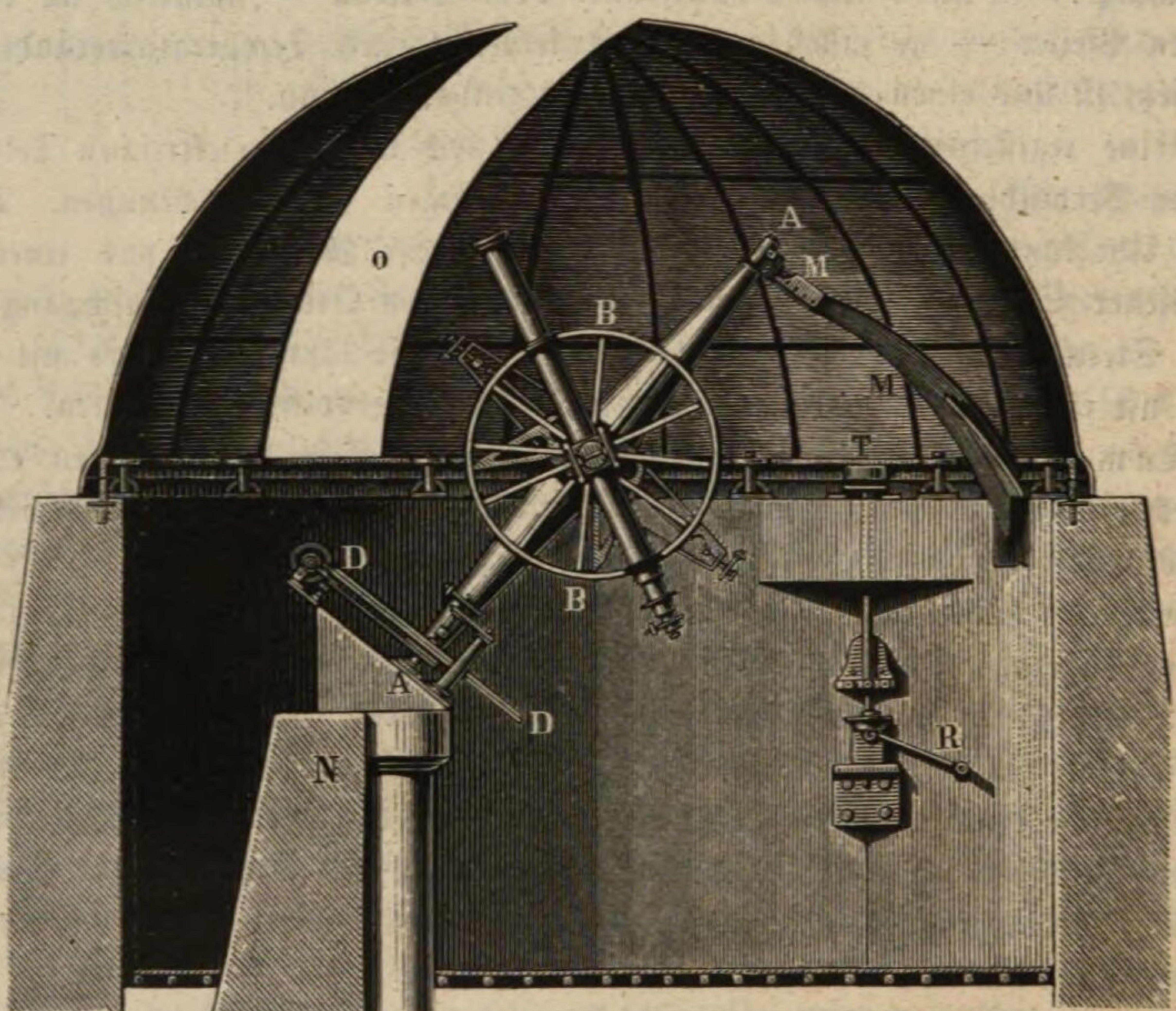
Das Gebäude, in welchem das Passageinstrument aufgestellt ist, muß sowohl an der nördlichen und südlichen Wand als auch an der Decke mit einer schmalen Oeffnung versehen sein, gerade als ob es in der Ebene des Meridians durchgesägt wäre. Diese Spalte, welche erlaubt, das Fernrohr nach allen im Meridian gelegenen Punkten des Himmels zu richten, braucht jedoch nicht beständig offen zu sein, sie ist vielmehr durch eine Reihe von Klappen geschlossen, von denen jede für sich geöffnet werden kann.

Das Aequatorialinstrument. Stundenwinkel und Declination sind 14
in Beziehung auf den Aequator ganz dasselbe, was Azimut und Höhe für den Horizont sind, es muß sich demnach auch ein Instrument construiren lassen, welches

für den Aequator dasselbe leistet, wie das Theodolit für den Horizont, welches also in gleicher Weise die Messung des Stundenwinkels und der Declination möglich macht. Ein solches Instrument wird Aequatorialinstrument genannt. Man könnte jedes Theodolit in ein Aequatorialinstrument verwandeln, wenn man den Azimutalkreis in eine solche Stellung brächte, daß er dem Aequator parallel wäre; die Umdrehungsaxe des Kreises *C*, Fig. 12, würde alsdann mit der Weltaxe zusammenfallen, der Limbus *D* würde zur Ablesung der Stundenwinkel, der Kreis *A* zur Ablesung der Declination dienen. Eine solche Aufstellung des Theodolits würde aber ebenso unbequem als unsicher sein, man hat deshalb das Aequatorialinstrument in anderer Weise construirt.

Fig. 23 stellt ein Aequatorialinstrument dar, wie sie auf Sternwarten gewöhnlich an einem erhöhten Orte des Gebäudes aufgestellt werden. Die der

Fig. 23.



Weltaxe parallele Umdrehungsaxe *A A* ist unten durch einen steinernen Pfeiler *N*, oben aber durch einen gußeisernen Bügel *M* getragen. *DD* ist der in unserer Figur zur Linie verkürzt erscheinende Aequatorialkreis, *BB* ist der Declinationskreis.

Wenn der Declinationskreis *B* vertical steht, so befindet er sich in der Ebene des Meridians und alsdann zeigt der Index des Aequatorialkreises auf Null. Der Index des Declinationskreises steht auf Null, wenn die Axe des Fernrohrs in der Ebene des Aequators steht, wenn sie also einen rechten Winkel mit der Axe *AA* macht.

Um das Instrument vor dem Einfluß der Witterung zu schützen, ist es mit einem gewöhnlich halbkugelförmigen Dache überdeckt, welches eine durch Klappen verschließbare Oeffnung *O* hat. Das ganze Dach ruht auf Rollen, so daß man es leicht mit Hülfe der Kurbel *R* um seine verticale Axe drehen und die Oeffnung *O* nach der Seite des Himmels hinbringen kann, welche man gerade beobachten will.

Die am Aequatorialinstrument gemachten Messungen sind bei Weitem nicht der Genauigkeit fähig, wie die im Meridian am Passageinstrument und Meridiankreis gemachten; man wendet deshalb auch das Aequatorialinstrument zur Ortsbestimmung von Gestirnen am Himmel nur dann an, wenn die Umstände eine Beobachtung im Meridian nicht erlauben. Das Aequatorialinstrument leistet aber dem Astronomen noch andere sehr wesentliche Dienste. Bei einem stark vergrößernden Fernrohre erscheint auch die Geschwindigkeit vergrößert, mit welcher die Gestirne in Folge ihrer täglichen Bewegung fortschreiten, und in ganz kurzer Zeit ist das Gesichtsfeld des Fernrohrs durchlaufen; man muß also fortwährend verrücken, und zwar in verticaler und horizontaler Richtung, um den Stern nicht aus dem Gesichtsfelde zu verlieren. Bei dem Aequatorialinstrumente ist es nun ungleich leichter, dem Gestirne zu folgen. Ist einmal das Fernrohr des Instrumentes auf einen Stern gerichtet und dann der Declinationskreis festgestellt, so daß sich die Neigung des Fernrohrs gegen die Axe *A* nicht mehr ändern kann, so wird bei einer Umdrehung um die Axe *A* die Visirlinie des Fernrohrs am Himmelsgewölbe einen Kreis beschreiben, welcher mit der Bahn des Sternes zusammenfällt; es bedarf also nur einer langsamen Drehung um die eine Axe *A*, um das Gestirn im Gesichtsfelde zu behalten.

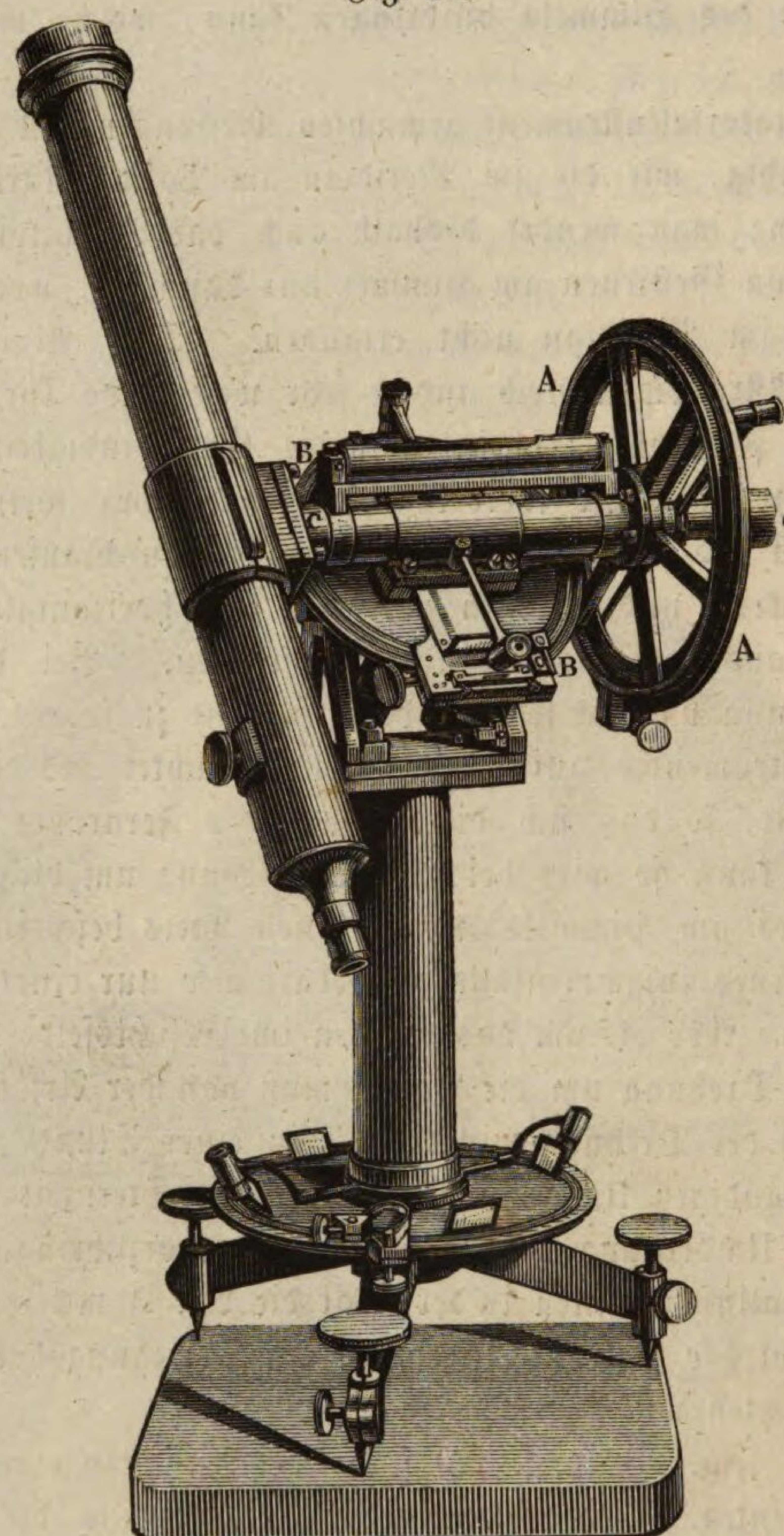
Die fragliche Drehung um die Axe *A* muß von der Art sein, daß in einer Minute (Sternzeit) der Drehungswinkel $1/4^0$, in einer Stunde 15^0 beträgt, daß also zu einer vollständigen Umdrehung 24 Stunden Sternzeit nöthig sind. Um eine gleichförmige Umdrehung um die Axe *A* hervorzubringen, hat man bei größeren Aequatorialinstrumenten in der That die Axe *A* mit einem Uhrwerke in Verbindung gebracht, so daß das Fernrohr der Bewegung des Gestirnes folgt, welches man beobachten will.

Fig. 24 und Fig. 25 (a. f. S.) sind zwei Ansichten eines transportabeln Aequatorialinstrumentes. Das Fernrohr ist zunächst um die Axe *cd* drehbar und die Größe der Drehung kann auf dem Declinationskreise *AA* abgelesen werden. Die Axe *cd* selbst aber ist wieder um die Axe *ab* drehbar und diese Drehung wird auf dem getheilten Kreise *BB* abgelesen werden, welche der Aequatorialkreis genannt wird. Bei gehöriger Aufstellung des Instrumentes ist die Axe *ab* parallel mit der Weltaxe und also der auf *ab* rechtwinklig stehende Kreis *BB* parallel mit dem Aequator. Auch die Axe *cd* steht rechtwinklig auf *ab*, sie bleibt also ebenfalls stets der Aequatorialebene parallel.

Vor allen Dingen kommt es nun darauf an, daß man die Axe *ab* leicht und sicher in die gehörige Lage bringen kann. Zunächst ist der ganze obere Theil des Instruments um die horizontale Axe *fg* drehbar, so daß man die Neigung der Axe *ab* gegen den Horizont nach Belieben ändern kann. Die Größe dieser

Neigung kann man auf dem getheilten Bogen *hi*, Fig. 25, ablesen, mit Hülfe dessen man also das Instrument so einstellen kann, daß der Winkel, welchen die Axe *ab* mit der Horizontalebene macht, gleich ist der Polhöhe des Beobachtungsortes.

Fig. 24.

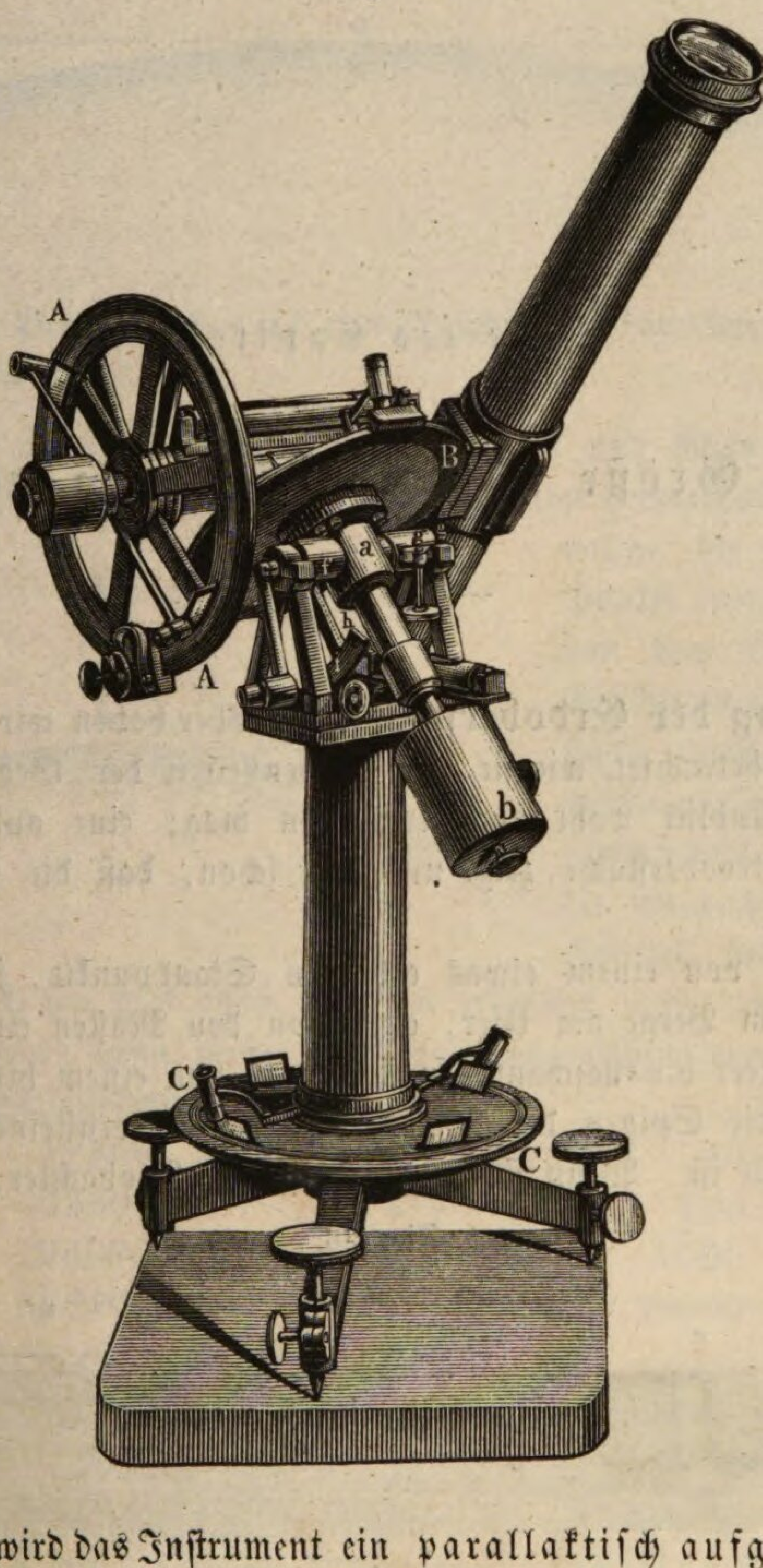


Nun aber genügt es nicht, daß die Axe *a b* die gehörige Neigung hat, sie muß auch, wenn sie der Weltaxe parallel sein soll, in der Ebene des Meridians liegen. Um nun dies bewirken zu können, ist die ganze bisher betrachtete Vorrichtung auf einer verticalen Säule befestigt, welche sammt einem horizontalen Alhidadenkreise, der sich innerhalb des Limbus *C* bewegt, um eine verticale Axe drehbar ist. Man dreht nun diese Säule um ihre Axe, bis die Axe *a b* in der Ebene des Meridians liegt.

Ist einmal die Axe *a b* gehörig eingestellt, so werden die entsprechenden Stellschrauben angezogen, um eine fernere Drehung der verticalen Säule sowohl wie der horizontalen Axe *fg* zu verhindern.

Ein solches Instrument führt gewöhnlich nur dann den Namen eines Aequatorialinstrumentes, wenn seine Kreise ziemlich groß und zu Messungen geeignet sind. Sind sie aber kleiner, so daß sie nur zur Einstellung des Fern-

Fig. 25.



rohrs dienen, so wird das Instrument ein parallaktisch aufgestelltes Fernrohr oder ein Fernrohr mit parallaktischem Stativ genannt.

Nach diesem Princip sind denn auch die großen mit dem Namen der Refractoren bezeichneten Fernröhre aufgestellt, welche dazu dienen, Beobachtungen über die Beschaffenheit einzelner Gestirne, z. B. des Mondes, des Saturn u. s w., anzustellen. Bei solchen Instrumenten wird dann auch die Drehung der Hauptaxe durch ein Uhrwerk bewerkstelligt.

Zweites Capitel.

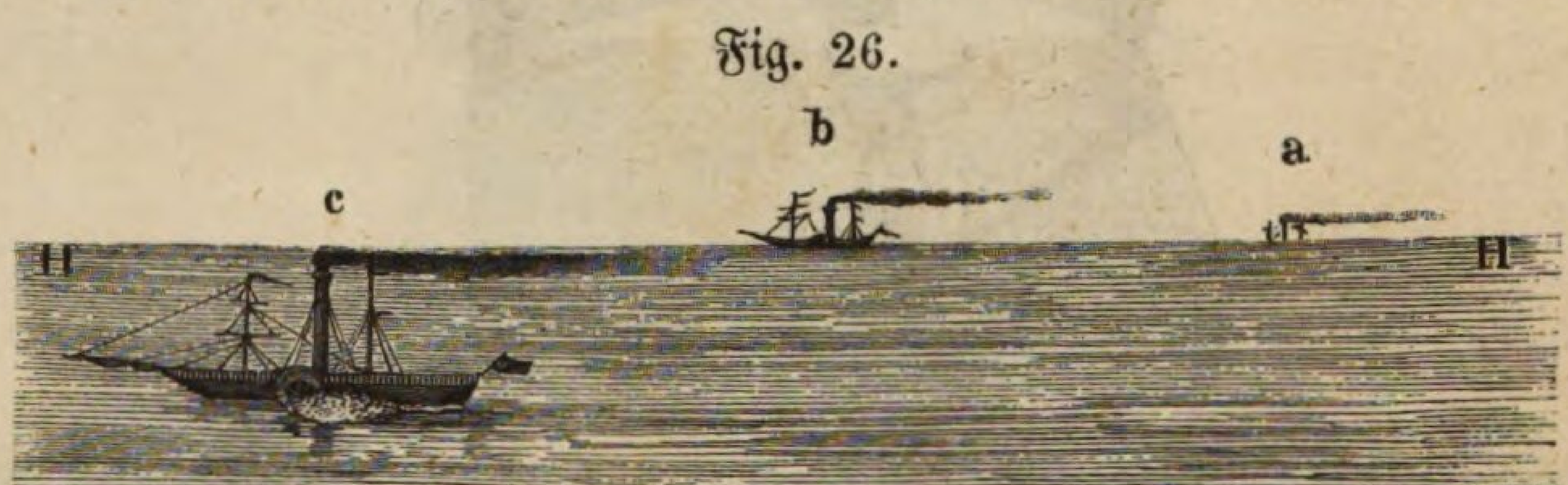
Gestalt, Größe und Axendrehung der Erde.

---

15 **Krümmung der Erdoberfläche.** Bisher haben wir die Erdoberfläche als eine Ebene betrachtet, wie sie, die Unebenheiten der Gebirge abgerechnet, auf den ersten Anblick wohl auch erscheinen mag; eine aufmerksame Beobachtung der Meeresoberfläche zeigt uns aber schon, daß die Erdoberfläche gekrümmt sein muß.

Wenn man von einem etwas erhöhten Standpunkte, sei es von einem Thurm oder einem Berge am Ufer, oder von den Masten eines Schiffes aus, auf das offene Meer hinausschaut, so sieht man von einem hinlänglich entfernten Schiffe nur die Spitzen der Masten oder des Schornsteins, wie es bei *a*, Fig. 26, dargestellt ist. Wenn sich das Schiff dem Beobachter nähert, so scheint

Fig. 26.

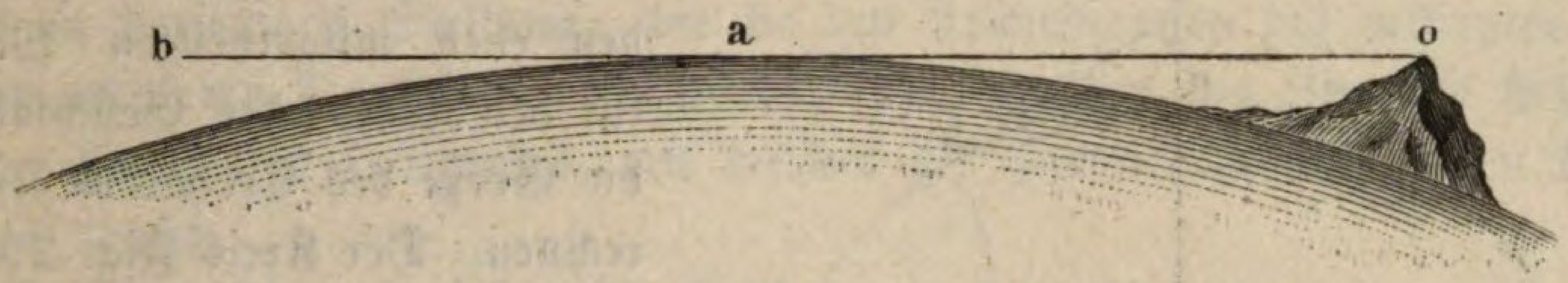


es allmälig aus dem Wasser aufzutauchen, bis es endlich vollständig sichtbar wird und nun gerade auf der Gränzlinie *HH* zwischen Himmel und Meer zu ruhen scheint, wie bei *b*. Bei fortdauernder Annäherung scheint nun das Schiff auf der Meeresoberfläche von der Linie *HH* herabzusteigen, so daß es mehr und mehr, und wenn der Beobachter hoch genug steht, endlich ganz auf die Meeresfläche projicirt erscheint, wie bei *c*.

Diese Erscheinung zeigt offenbar, daß die Meeresoberfläche gekrümmt sei. Denkt man sich von dem Auge des Beobachters eine gerade Linie nach irgend einem Punkte der Linie *HH* gezogen, welche Wasser und Himmel scheidet und

welche Horizontlinie genannt wird, so ist diese Linie offenbar eine Tangente der krummen Meeresoberfläche, wie dies Fig. 27 erläutert, in welcher *o* den

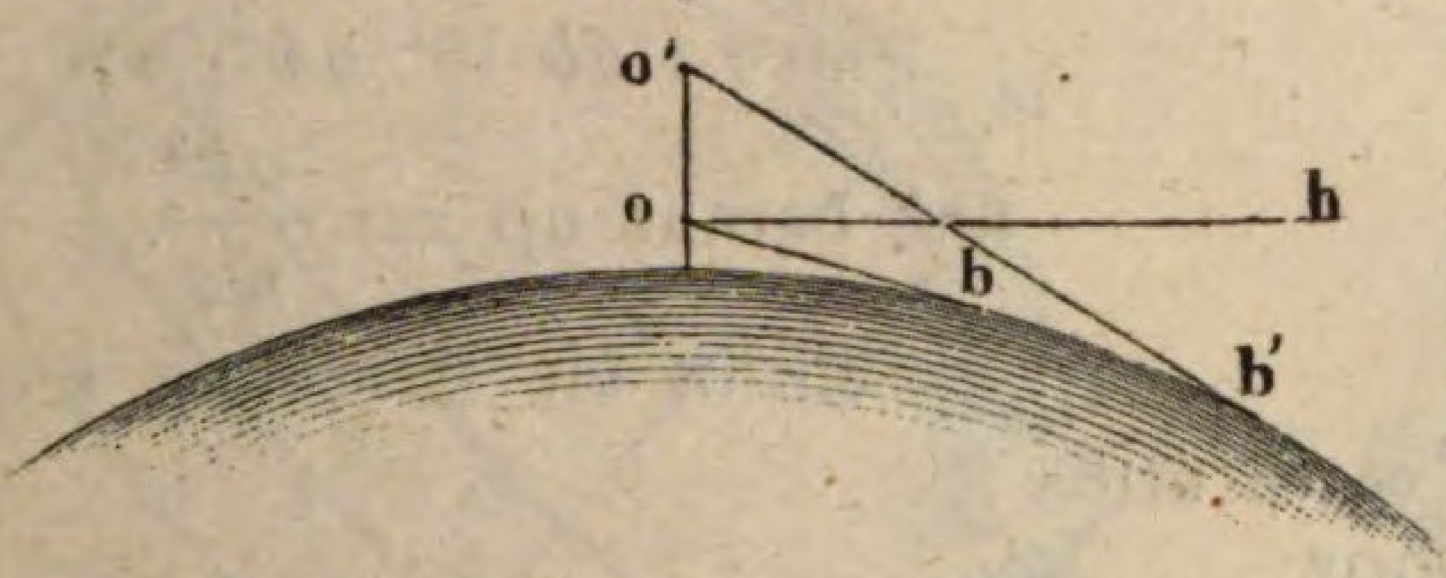
Fig. 27.



Standpunkt des Beobachters, *oab* eine Gesichtslinie bezeichnet, welche die Meeresoberfläche in *a* streift.

Sieht der Beobachter nichts als Himmel und Meer, so begränzt die Scheidelinie zwischen beiden, also die rings um ihn herumlaufende Horizontlinie, welche die Gesammtheit aller Punkte enthält, in welchen die von dem Auge ausgehenden Gesichtslinien die Meeresoberfläche tangiren, eine Fläche, welche wir den Gesichtskreis nennen wollen. Je höher nun der Beobachter sich über den Spiegel des Meeres erhebt, desto mehr wächst, wie dies durch Fig. 28 erläutert wird, der von ihm übersehene Gesichtskreis, desto mehr rückt die Horizontlinie von ihm weg. Der Halbmesser des Gesichtskreises ist ungefähr

Fig. 28.



19800',	wenn sich	der	Beobachter		10'
62600	»	»	»	»	100
198000	»	»	»	»	1000
626400	»	»	»	»	10000

hoch über dem Spiegel des Meeres befindet.

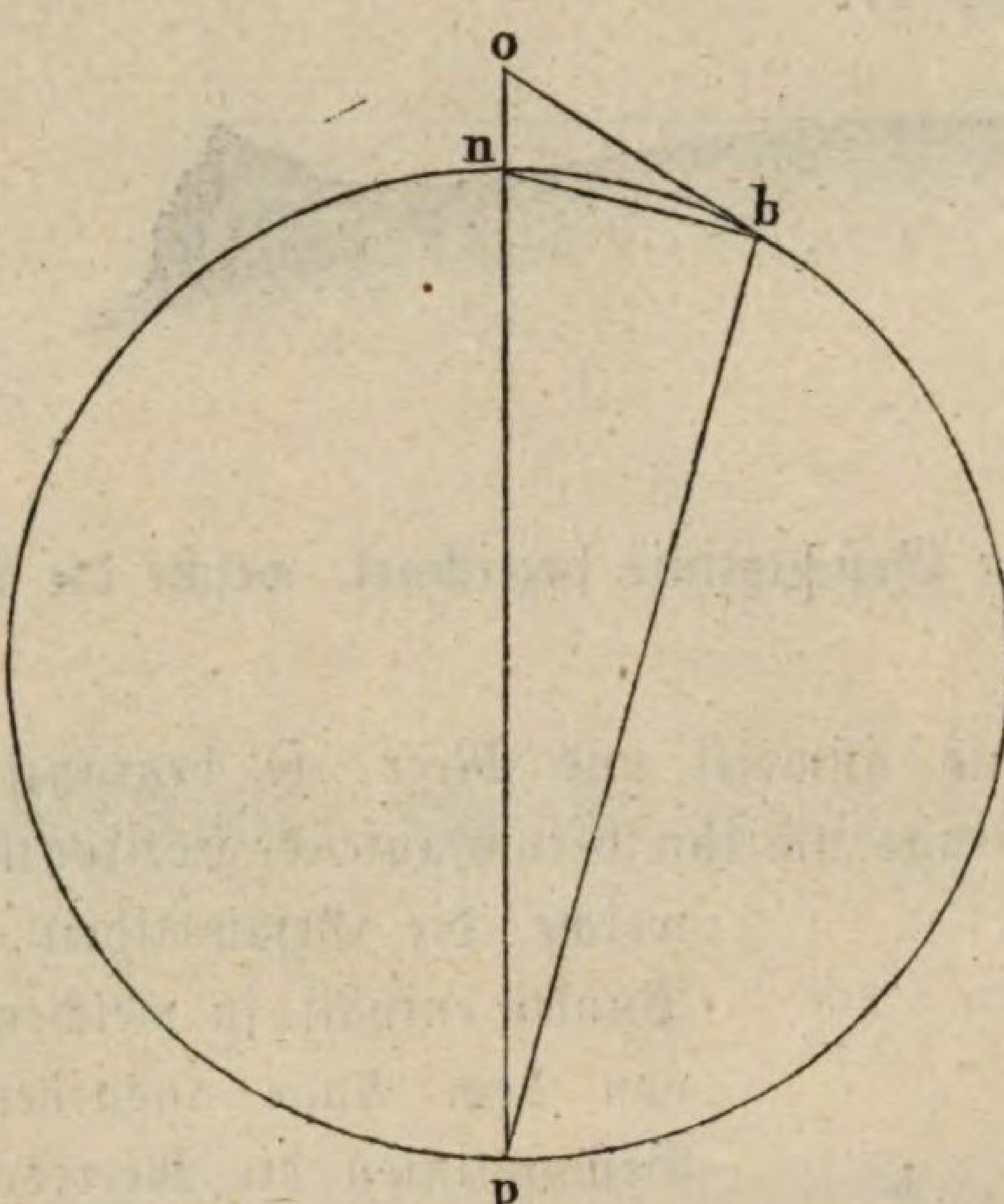
Aus dem Gesagten geht auch hervor, daß eine vom Auge des Beobachters nach einem Punkte der Horizontlinie gezogene Linie *ob* keineswegs mit der durch *o* gelegten wagerechten *oh* zusammenfällt, sondern daß die Visirlinie *ob* einen Winkel *boh* mit *oh* macht, welche die Depression des Horizontes genannt wird. Die Depression des Horizontes wächst natürlich auch, wenn der Beobachter aufsteigt. Die Depression des Horizontes ist

3,5'	für	eine	Erhebung	von	10 Fuß
11,0	»	»	»	»	100
34,7	»	»	»	»	1000
1° 50,0	»	»	»	»	10000.

Alle diese Erscheinungen deuten nun darauf hin, daß wenigstens die Meeresoberfläche kugelförmig gekrümmt sei. Da aber die Oberfläche der Meere viel größer ist als die der Länder, da ferner die Erhebung der Continente über den

Meeresspiegel verhältnißmäßig ganz unbedeutend ist, so können wir schließen, daß die ganze Erde eine Kugel sei.

Fig. 29.



Gehen wir von dieser Annahme aus, so können wir aus den eben mitgetheilten Werthen für den Radius des Gesichtskreises die Größe des Erdhalbmessers berechnen. Der Kreis Fig. 29 stelle einen Durchschnitt der Erdkugel dar, so ist np ein Durchmesser derselben. o sei nun der Standpunkt des Beobachters, ob eine durch sein Auge an die Erdoberfläche gelegte Tangente, so sind die Dreiecke nob und obp einander ähnlich und man hat

$$no : ob = ob : op$$

und daraus $op = \frac{ob^2}{no}$.

Wenn die Erhebung $no = 1000'$ ist, so ist $ob = 198000'$, es ist also

$$op = \frac{198000^2}{1000} = 39204000.$$

Ziehen wir davon $no = 1000$ ab, so bleibt für den Durchmesser der Erde $D = 39203000$ Fuß oder 1782 deutsche Meilen, da eine solche Meile in runder Zahl gleich 22000 Fuß ist.

Eine solche Bestimmungsweise des Erddurchmessers kann natürlich keine genauen Resultate liefern.

Weitere Beweise für die Kugelgestalt der Erde liefern die sogenannten Reisen um die Welt und die Gestalt des Erdschattens, wie man sie bei Mondfinsternissen zu beobachten Gelegenheit hat; am entschiedensten aber ergiebt sie sich, wenn man mit Aufmerksamkeit den Anblick des gestirnten Himmels in verschiedenen Gegenden vergleicht.

16 **Bestimmung der Kugelgestalt durch astronomische Beobachtungen.** Im vorigen Capitel wurde bereits angeführt, daß für das mittlere Deutschland die Weltaxe ungefähr einen Winkel von 50 Graden, und also die Ebene des Aequators einen Winkel von 40 Graden mit der Ebene des Horizontes mache. Das ändert sich nun, sobald man nach Norden oder nach Süden reist.

Je weiter man nach Norden geht, desto mehr steigt der Polarstern in die Höhe, während der Himmelsäquator sich in gleichem Maße gegen die Ebene des Horizontes senkt. Es nimmt also die Zahl der Sterne zu, welche nicht auf- und nicht untergehen; dagegen wird aber auch ein immer größerer Theil der

südlichen Hälfte der Himmelskugel ganz unsichtbar, der Gürtel der Sterne, welche auf- und untergehen, wird immer schmäler.

Am besten kann man sich diese Veränderungen anschaulich machen, wenn man einen Himmelsglobus zur Hand nimmt. Fig. 30 zeigt einen Himmelsglobus in derjenigen Stellung, wie sie den Erscheinungen des gestirnten Himmels im mittleren Deutschland entspricht; der Nordpol des Himmels steht 50° über der Ebene des Horizontes, mit welcher der Himmelsäquator einen Winkel von 40° macht.

Soll der Himmelsglobus die Erscheinungen nördlicher gelegener Gegenden darstellen, so muß man den Messingring *M* so drehen, daß die Axe *PQ* sich mehr und mehr der Verticalen nähert. In der Stellung Fig. 31 z. B. zeigt der Himmelsglobus die Erscheinungen des gestirnten Himmels, wie sie ungefähr

Fig. 30.

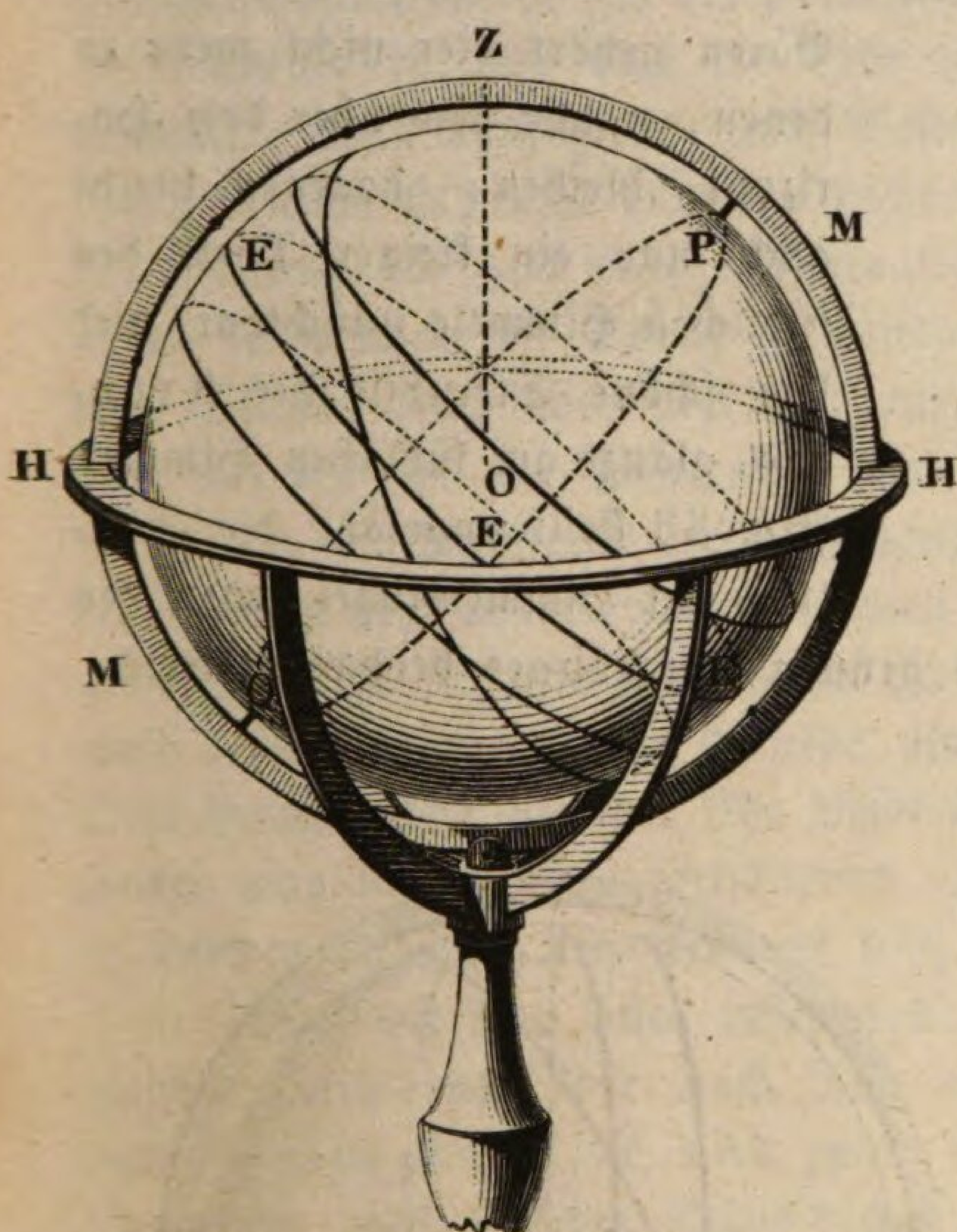
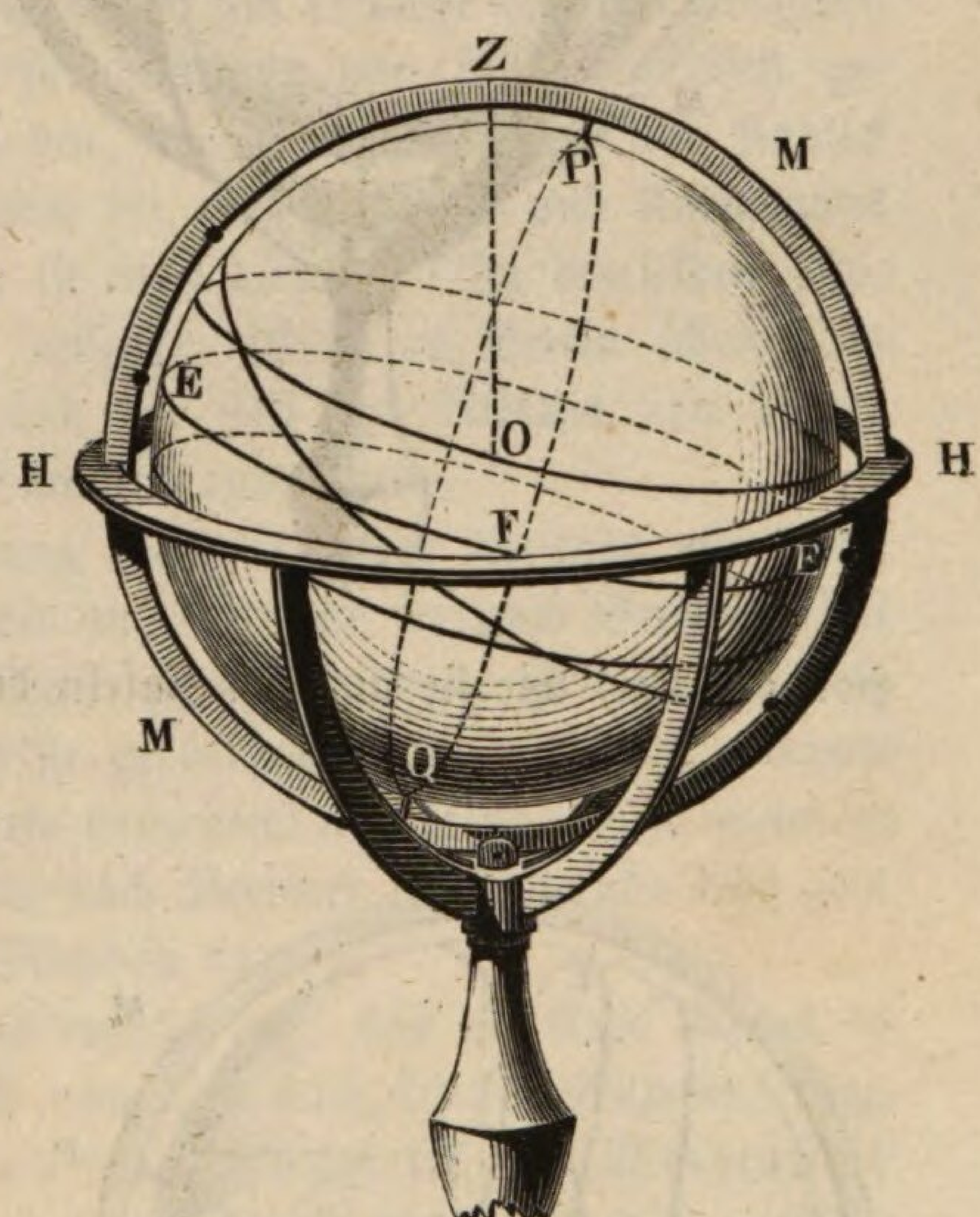


Fig. 31.



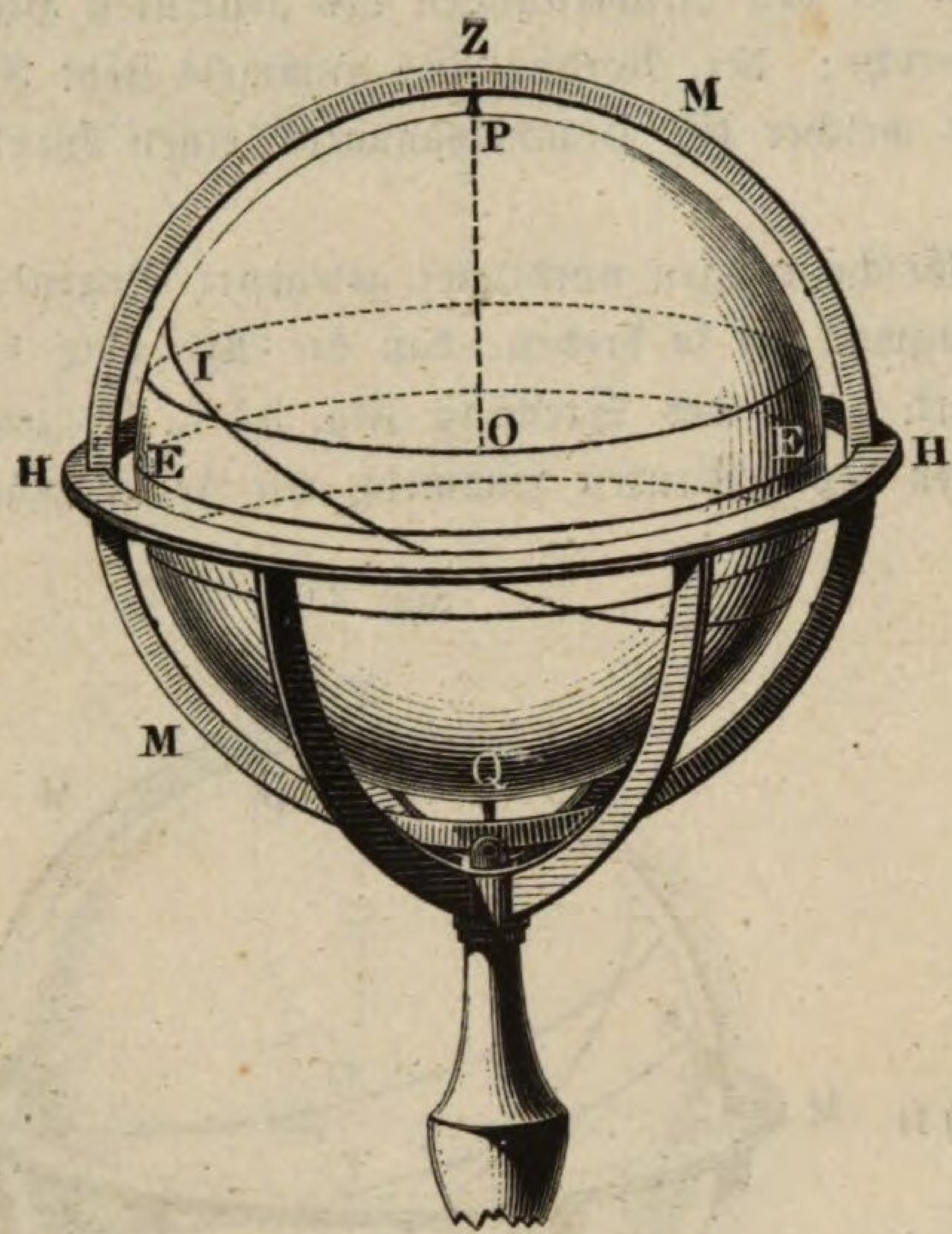
an den nördlichsten Gränzen Europas wahrgenommen werden. Die Zenithdistanz des Polarsternes beträgt keine 20° mehr, die Plejaden gehen nicht mehr auf und unter, sondern man sieht ihre obere und ihre untere Culmination. Sirius und Spica erheben sich am südlichen Himmel kaum noch über den Horizont, während Antares im Scorpion und Fomalhaut im südlichen Fisch gar nicht mehr sichtbar werden.

Könnte man vom Nordcap aus noch so weit nach Norden fortgehen, wie das Nordcap von Frankfurt am Main liegt, so würde man zu einem Punkte kommen, wo der Nordpol des Himmels im Zenith liegt und der Himmelsäquator in die Ebene des Horizontes fällt, wie es Fig. 32 (a. f. S.) darstellt. Hier ist nur noch die nördliche Hemisphäre des Himmels sichtbar. Alle sichtbaren

Sterne beschreiben während ihrer täglichen Bewegung Kreise, welche mit dem Horizont parallel sind, die Höhe eines Sternes bleibt also stets unverändert.

Verfolgen wir nun auch die Veränderungen, welche der gestirnte Himmel darbieten wird, wenn man vom mittleren Deutschland aus nach Süden geht. Der Nordpol des Himmels senkt sich immer mehr und immer kleiner wird der Kreis der Sterne, welche nicht auf- und nicht untergehen. Auf den Inseln des grünen Vorgebirges z. B. ist der Polarstern nur noch 15° über dem Horizont.

Fig. 32.



Das Sternbild des großen Bären gehört hier nicht mehr zu denen, welche stets über dem Horizont bleiben; dagegen bleibt auch nur ein kleiner Theil des südlichen Himmels unsichtbar, und das schöne Sternbild des Kreuzes glänzt am südlichen Himmel. Fig. 33 stellt ungefähr die Stellung der Himmelskugel gegen den Horizont dar, wie sie auf den Inseln des grünen Vorgebirges beobachtet wird.

Fig. 33.

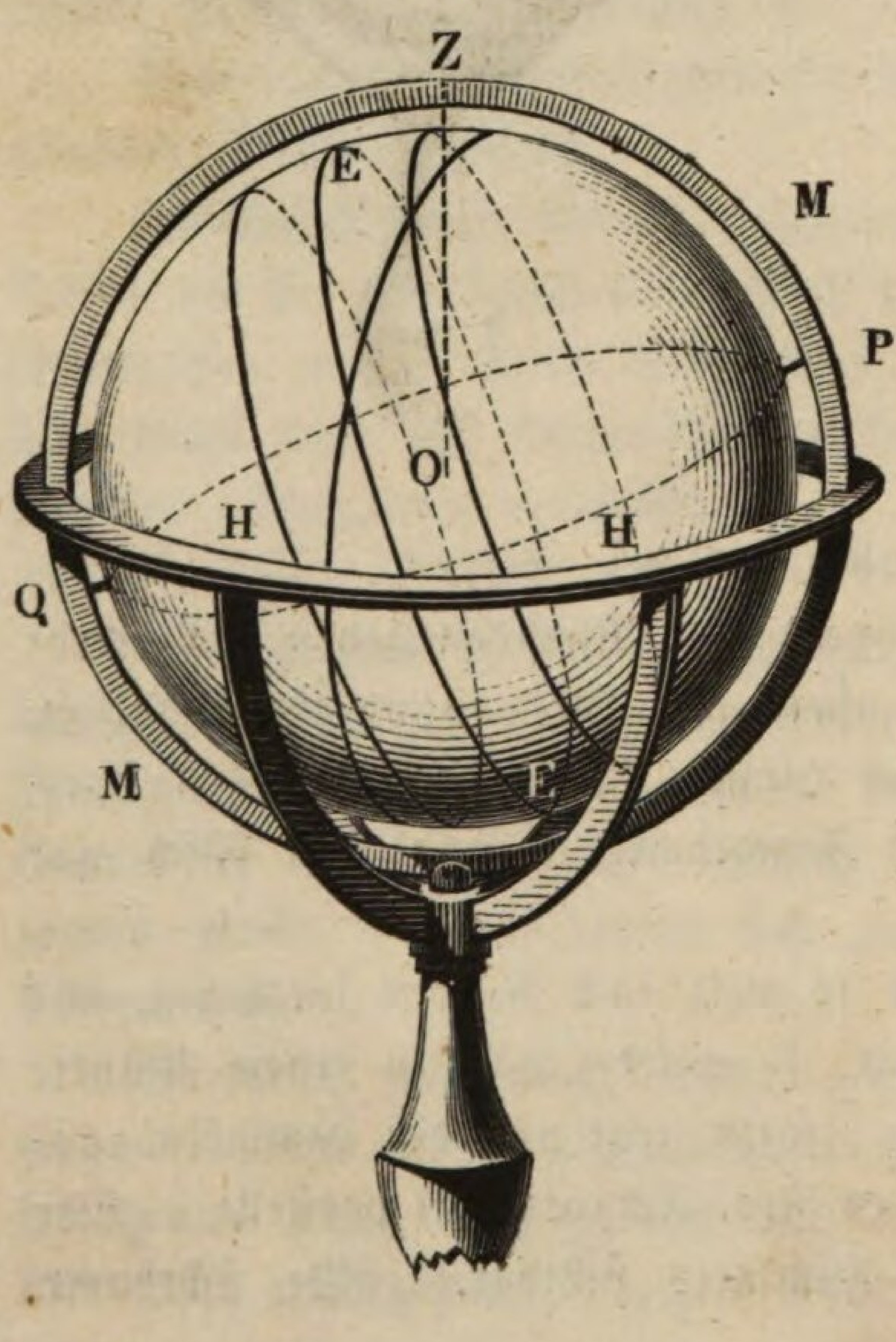
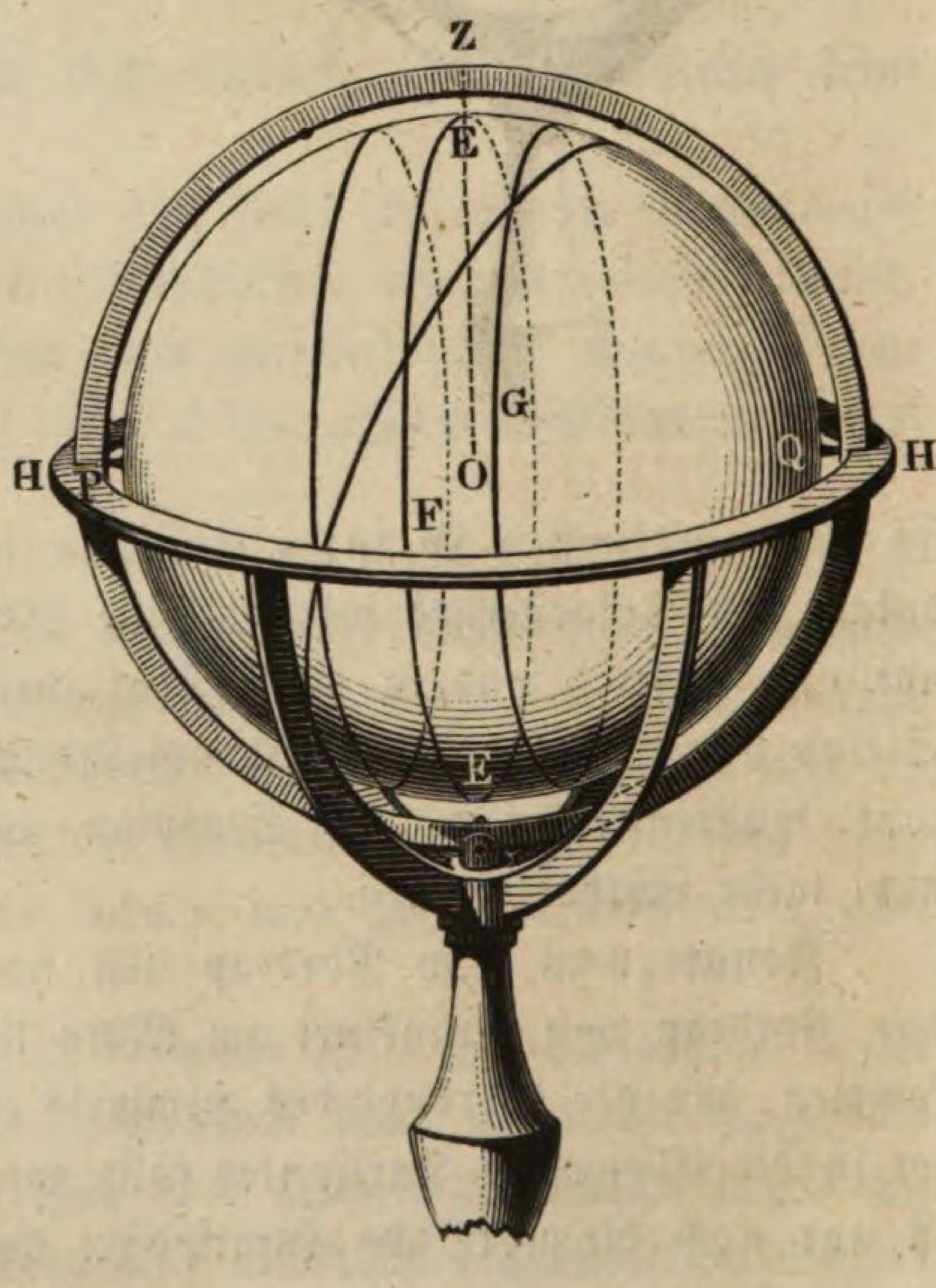


Fig. 34.



Noch weiter nach Süden fortschreitend, gelangt man endlich an Orte, wo der Himmelsäquator im Zenith erscheint, Fig. 34, wie dies z. B. in Quito der Fall ist. Nach Norden hin sieht man den Nordpol, nach Süden hin den Südpol des Himmels im Horizont. Alle Parallelkreise des Himmels stehen rechtwinklig auf der Ebene des Horizontes. Kein Stern des Himmels bleibt beständig über, keiner beständig unter dem Horizont, für alle Sterne ist der Tagbogen dem Nachtbogen gleich.

Setzt man den Weg nach Süden hin immer noch weiter fort, so verschwindet der Nordpol des Himmels unter dem Horizont, der Südpol dagegen steigt höher und höher.

Aus diesen eben besprochenen Erscheinungen geht hervor, daß die Erde in der Richtung von Norden nach Süden hin gekrümmt sein muß, und zwar ziemlich gleichförmig; denn für je 342000 Fuß, um welche man gerade nach Norden hin fortschreitet, erhebt sich der Polarstern ungefähr um 1^0 mehr über den Horizont.

Ebenso ist aber auch die Erde in der Richtung von Ost nach West gekrümmt. Reist man gerade nach Westen hin, so ändert sich zwar der Anblick des gestirnten Himmels durchaus nicht; aber die Zeit des Auf- und Untergangs der Gestirne, die Zeit ihrer Culmination ist nicht dieselbe. In demselben Moment, in welchem die Sonne in London aufgeht, ist sie zu Berlin schon bald eine Stunde lang über dem Horizont; und die Zeit des Mittags von Quito fällt mit der Zeit der Mitternacht von Sumatra zusammen.

Von der Richtigkeit dieser Behauptung kann sich jeder Reisende mit Hülfe einer guten Uhr überzeugen. Nehmen wir an, die Uhr sei nach Berliner Zeit gerichtet, d. h. sie gehe so, daß sie für Berlin stets die richtige Zeit angiebt, so wird diese Uhr, wenn man dieselbe, ohne sie zu verstellen, an westlicher gelegene Orte bringt, stets vor der Uhr dieser Orte vorgehen, und zwar um so mehr, je weiter man nach Westen fortschreitet. Die nach Berliner Zeit gehende Uhr geht in Londen nahezu 1, in Newyork $5^1/_2$ Stunden vor.

Fassen wir dies Alles zusammen, so ergiebt sich, daß die Erde überall in gleicher Weise von Nord nach Süd und von Ost nach West gekrümmt, kurz, daß sie eine Kugel ist, und zwar muß diese Kugel frei im Weltraume schweben, weil es keine Stelle des Himmels giebt, die nicht von den entsprechenden Orten der Erde aus frei sichtbar wäre.

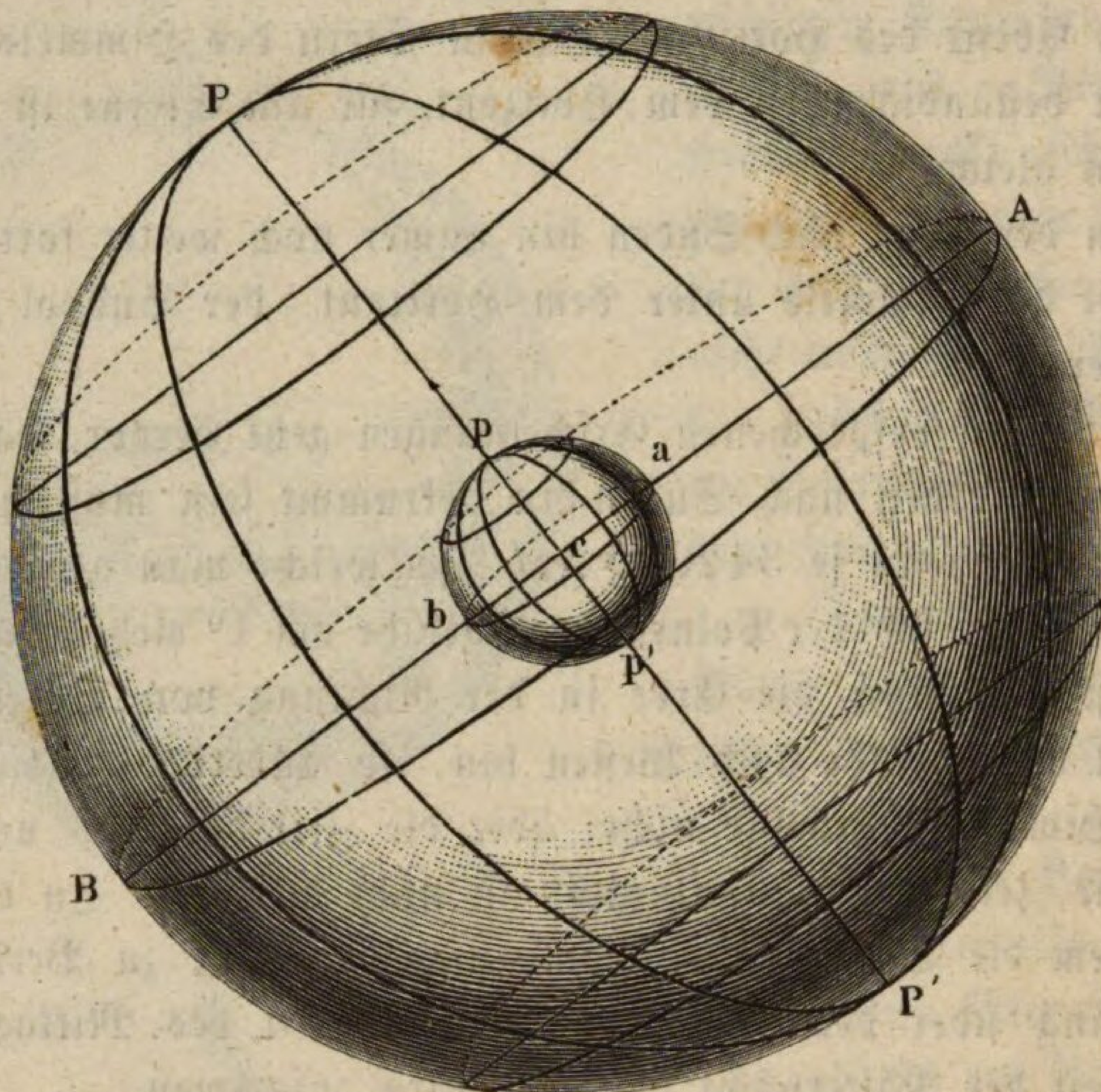
Geographische Länge und Breite. Fig. 35 (a. f. S.) stellt die 17
mitten in der Himmelskugel schwebende Erdkugel dar, wobei jedoch zu bedenken ist, daß die Dimensionen der Erdkugel verschwindend klein sind im Vergleich zu denen der Himmelskugel, was man in der Zeichnung freilich nicht richtig darstellen kann. Die Weltaxe PP' geht mitten durch die Erdkugel hindurch und trifft ihre Oberfläche in zwei Punkten pp', welche die Pole der Erde sind; p ist der Nordpol, p' ist der Südpol der Erde.

Die Ebene des Himmelsäquators schneidet die Erde in einem Kreise abc, welcher der Aequator der Erde ist.

Denken wir uns an irgend eine Stelle der Erdoberfläche eine Berührungsebene gelegt, so ist dies der scheinbare Horizont, d. h. der Horizont,

welcher dem auf der Erdoberfläche befindlichen Beobachter in der That die sichtbare Hälfte der Himmelskugel begränzt. Es ist klar, daß ein auf dem Nord-

Fig. 35.



pol der Erde stehender Beobachter den Nordpol des Himmels im Zenith hat, daß dagegen für einen auf dem Erdäquator stehenden Beobachter ein Punkt des Himmelsäquators das Zenith bildet, kurz, daß bei Veränderung des Standpunktes auf der Erde der Anblick des Himmels sich in der Weise ändern müsse wie wir es im vorigen Paragraphen gesehen haben.

Eine parallel mit dem scheinbaren Horizont durch den Mittelpunkt der Erde gelegte Ebene ist der wahre Horizont. Der Abstand des wahren Horizontes vom scheinbaren ist so klein im Vergleich zu den Dimensionen des Himmelsgewölbes, daß der Anblick des gestirnten Himmels für den auf der Oberfläche der Erde befindlichen Beobachter derselbe ist, als ob er sich im Mittelpunkte des wahren Horizontes befände.

Den Stundenkreisen und Parallelkreisen auf der Himmelskugel entsprechend denkt man sich auch auf der Erdkugel ein System von Kreisen gezogen. — Diejenigen größten Kreise, welche durch die beiden Pole p und p' der Erde gehen, welche also den Stundenkreisen der Himmelskugel entsprechen, werden Längenkreise, Meridiankreise oder nur Meridiane genannt. Die mit dem Aequator parallelen Kreise heißen Parallelkreise oder Breitekreise.

Mittelst dieser Kreise findet die Ortsbestimmung auf der Oberfläche der Erdkugel ganz in derselben Weise Statt, wie die Ortsbestimmung am Himmel, durch Declination und Rectascension. Was für die Himmelskugel die Declination ist, das ist die geographische Breite für die Erdkugel;

die geographische Länge hat für die Erdkugel dieselbe Bedeutung wie die Rectascension für die Himmelskugel.

Die geographische Breite eines Ortes ist der auf seinem Meridian gemessene Bogen von dem Orte bis zum Erdäquator. So ist z. B. die geographische Breite von Freiburg 48°, Freiburg ist also noch um 42 Breitegrade vom Nordpol der Erde entfernt, da der Bogen vom Pol bis zum Aequator 90° beträgt.

Die geographische Länge eines Ortes ist der auf dem Aequator gezählte Winkel oder Bogen, welcher zwischen dem Meridian des Ortes und irgend einem bestimmten zum Ausgangspunkte der Zählung gewählten Meridian liegt.

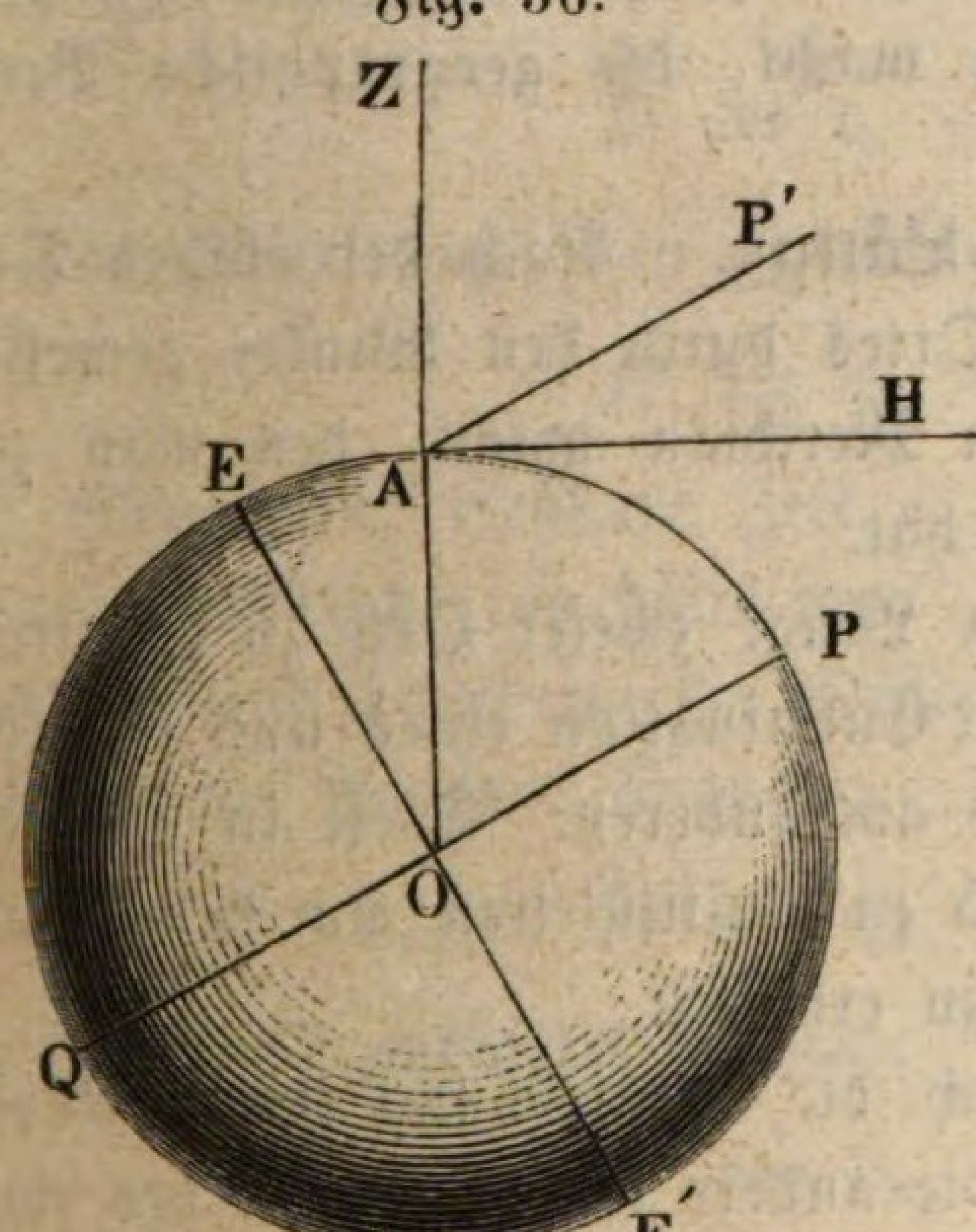
Gewöhnlich zählt man die Länge von dem durch die Insel Ferro gelegten Meridian.

So ist denn die Lage von Freiburg vollkommen bestimmt, wenn man sagt, es liege in einer nördlichen Breite von 48° und seine geographische Länge sei (ungefähr) $25\frac{1}{2}$° östlich von Ferro.

Die Engländer nehmen den Meridian von Greenwich, die Franzosen von Paris zum Ausgangspunkte für die Zählung der geographischen Breite.

Bestimmung der geographischen Breite eines Ortes. Fig. 36 stelle die Erdkugel dar. PQ sei die Erdaxe, EE' der zur Linie verkürzt erscheinende Erdäquator; es sei ferner A irgend ein Ort auf der Erdoberfläche, so ist der Bogen EA die geographische Breite desselben. Denken wir uns nun von A aus eine gerade Linie AP' parallel mit der Erdaxe gezogen, so trifft die Verlängerung dieser Linie gerade den Himmelspol (da ja die Dimensionen der Erde verschwindend klein sind gegen die des Himmelsraumes). Der Winkel aber, welchen AP' mit AH, der Ebene des Horizontes von A, macht, ist aber offenbar gleich dem Winkel EOA, oder mit anderen Worten: die geographische Breite eines Ortes ist seiner Polhöhe gleich. 18

Fig. 36.



Um die geographische Breite eines Ortes zu ermitteln, hat man also nur zu messen, um wie viel Grade der an diesem Orte sichtbare Himmelspol über der Ebene des Horizontes steht.

Da aber der Himmelspol nicht durch einen bestimmten Stern bezeichnet ist, so kann man die Polhöhe nicht durch eine einzige directe Messung finden; sie ergiebt sich aber sehr einfach aus der Beobachtung der oberen und unteren Culmination der Circumpolarsterne. Hat man die Höhe eines der Circumpolarsterne zur Zeit der oberen und dann wieder zur Zeit der unteren Culmination

gemessen, so hat man aus diesen beiden Winkeln nur das Mittel zu nehmen, um die Polhöhe zu finden.

Man hat z. B. zu Freiburg gefunden:

Höhe des Polarsternes zur Zeit der unteren Culmination	46°	32′
» » » » » » oberen »	49	28,

so ergiebt sich daraus die Polhöhe von Freiburg gleich 48°.

An Orten, wo die Localitäten oder auch die Einrichtung der Instrumente die Beobachtung der Circumpolarsterne nicht zulassen, kann man auch aus der Höhe eines beliebigen anderen Sternes zur Zeit seiner Culmination auf die geographische Breite des Beobachtungsortes schließen, da ja die Declination aller helleren Sterne wenigstens durch genaue Messungen auf den ersten Sternwarten ein- für allemal bekannt ist (Cap. I, §. 12). Beobachtet man nun die Höhe eines Sternes zur Zeit seiner Culmination, so hat man von derselben nur die Declination des Sternes abzuziehen (oder zu addiren, wenn die Declination eine südliche ist), um zu erfahren, wie hoch derjenige Punkt des Aequators, welcher gerade im Meridian sich befindet, über dem Horizont liegt, oder mit anderen Worten, welchen Winkel der Himmelsäquator mit dem Horizont macht. Dieser Winkel ist aber gleich der Zenithdistanz des Himmelspols und ergänzt also die Polhöhe (also auch die geographische Breite) zu 90°.

Man hat z. B. zu Freiburg die Höhe des Procyon (α canis minoris), dessen Declination 5° 38′ ist, zur Zeit seiner Culmination gleich 48° 38′ gefunden, und daraus ergiebt sich 42° als Werth des Winkels, welchen der Himmelsäquator mit dem Horizont von Freiburg macht, die geographische Breite von Freiburg ist also 48°.

19 **Bestimmung der geographischen Länge.** Nach der obigen Definition wird die geographische Länge eines Ortes durch den Winkel gemessen, welchen der Meridian desselben mit demjenigen Meridian macht, den man zum Nullpunkte der geographischen Länge gewählt hat.

Um den Unterschied der geographischen Länge zweier Orte zu ermitteln, muß man bestimmen, um wie viel Stunden die Culmination eines und desselben Sternes an dem einen Orte später eintritt als am anderen. Diese in Stunden ausgedrückte Zeitdifferenz hat man nur mit 15 zu multipliciren, um den gesuchten Längenunterschied in Graden ausgedrückt zu erhalten.

Diese Zeitdifferenz erhält man aber durch die Vergleichung zweier Uhren, von denen die eine nach der Zeit des ersten, die andere nach der Zeit des zweiten Ortes regulirt ist. Eine solche Vergleichung kann man aber nach verschiedenen Methoden ausführen.

Sind die beiden Orte, deren Längenunterschied man ermitteln will, nicht gar zu weit von einander entfernt, so wählt man zwischen beiden Stationen einen Punkt, etwa eine Bergspitze, einen Thurm u. s. w., welcher von beiden Punkten aus zugleich gesehen werden kann, auf welchem dann ein vorher verabredetes Signal, etwa durch Anzünden einer kleinen Menge Pulver, gegeben wird. Die Beobachter an den beiden Stationen, welche den Gang ihrer Uhren nach der Culmination eines und desselben Sternes regulirt haben, notiren die Zeit,

in welcher sie das Signal wahrnehmen, und aus der Vergleichung der notirten Zeitmomente ergiebt sich dann der verlangte Zeit- und Längenunterschied.

Wenn die beiden Orte durch einen elektrischen Telegraphen mit einander verbunden sind, so kann man sich desselben zur Bestimmung der Längenunterschiede bedienen, da die Geschwindigkeit des galvanischen Stromes so groß ist, daß man die Fortpflanzung des Signals von der einen Station zur anderen als momentan betrachten darf. Der Beobachter der einen Station notirt sich die Uhrzeit, in welcher er das elektrische Signal absendet, der andere beobachtet die Uhrzeit, in welcher er es wahrnimmt. Die Differenz dieser Uhrzeiten giebt den Längenunterschied. Dies Verfahren giebt sehr genaue Resultate und ist mit Erfolg in den vereinigten Staaten von Nordamerika in Anwendung gebracht worden.

Nach dieser Methode wurden auch am 13. und am 29. August Morgens zwischen 6 und 7 Uhr Versuche zur Bestimmung des Längenunterschiedes von Frankfurt a. M. und Berlin gemacht. Das Signal bestand in einem einfachen Drucke auf den Schlüssel des Telegraphen und wurde an dem anderen Ende der Telegraphenlinie als ein einfaches Knacken von nicht meßbarer Dauer gehört. Bezeichnen wir mit t_b die Berliner Zeit für den Moment eines solchen Signals, mit t_f die gleichzeitige Frankfurter Zeit, so ergab sich für den fraglichen Längenunterschied beider Orte im Durchschnitt aus allen zu Berlin gegebenen Signalen (Jahresbericht des physikalischen Vereins zu Frankfurt a. M. für 1852 und 1853):

$$D = t_b - t_f = 18' \, 51{,}89'',$$

und das Mittel aus allen Frankfurter Signalen

$$D' = t_b - t_f = 18' \, 51{,}77''.$$

Wenn eine meßbare Zeit c zwischen der Abgabe und der Ankunft eines Signals verstriche, so hätte man, wenn sich t_b und t_f auf die Momente der Zeichengebung beziehen, die Differenz der Uhrzeiten des Abgangs und der Ankunft für die Berliner Signale

$$D = t_b - (t_f + c)$$

und für die Frankfurter Signale

$$D' = (t_b + c) - t_f$$

Es müßte also die Differenz D' für die Frankfurter Signale größer sein als die entsprechende Differenz D für die Berliner Signale. Da dies nun nicht der Fall ist, so liefern diese Versuche zugleich den Beweis, daß die Zeit, in welcher sich der galvanische Strom von Berlin nach Frankfurt fortpflanzt, in der That verschwindend klein ist.

Solche Signale sind aber nicht mehr anwendbar, wenn die beiden Orte zu weit von einander entfernt und durch Meere getrennt sind. Statt der irdischen Signale muß man alsdann himmlische anwenden, d. h. man beobachtet den Moment, in welchem gewisse Erscheinungen am Himmel, die wir später noch

besprechen werden, wie Sternbedeckungen, Verfinsterung von Jupiterstrabanten u. s. w. eintreten. Den Zeitpunkt, in welchem diese Erscheinungen an irgend einer der Hauptsternwarten eintreten müssen, erfährt man aus den astronomischen Jahrbüchern, welche von den Astronomen der wichtigsten Observatorien herausgegeben worden und welche die für einige Jahre schon vorausberechneten Momente dieser Erscheinungen enthalten.

So enthält z. B. das Berliner astronomische Jahrbuch für 1853 die Angabe, daß am 20. Mai dieses Jahres eine Bedeckung des Sternes $\varkappa$ virginis durch den Mond stattfinde, und zwar müßte der Stern für Berlin um 13^h 16,4′ am östlichen Mondrande eintreten. Lorey beobachtete den Eintritt dieses Sternes zu Frankfurt a. M. an demselben Tage um 12^h 56,2′; demnach betrüge der Längenunterschied zwischen Berlin und Frankfurt 20′ 12″. An diesem Resultat sind aber noch Correctionen anzubringen, welche hier nicht besprochen werden können.

Am einfachsten ergeben sich die Längendifferenzen durch Anwendung guter, gleichförmig gehender Chronometer, welche man von dem einen Orte an den anderen mit hinnimmt. Diese Methode wird vorzugsweise zur Längenbestimmung auf der See angewendet. Diese Chronometer werden für den Meridian irgend einer bedeutenden Sternwarte, z. B. den von Greenwich, regulirt, sie geben also für jeden Augenblick die Greenwicher Zeit an; man hat also nur die Zeit des Ortes, an welchem man sich befindet, mit der des Chronometers zu vergleichen, um daraus die Längendifferenz abzuleiten.

Eine nach dieser Methode gemachte Längenbestimmung wird natürlich um so genauer ausfallen, je regelmäßiger und genauer der Gang der Uhr ist. Wo es auf sehr große Genauigkeit ankommt, wendet man gleichzeitig mehrere Chronometer an und nimmt das Mittel aus allen einzelnen Bestimmungen; so wurde im Jahre 1824 die Länge von Altona, Helgoland und Bremen in Beziehung auf die Sternwarte von Greenwich durch 35 Chronometer, mit welchen man sechsmal die Reise über das Meer machte, und im Jahre 1843 wurde in gleicher Weise der Längenunterschied der Sternwarte von Pulkawa bei Petersburg und der von Greenwich mit Hülfe von 68 vorzüglichen Chronometern bestimmt.

Wie man die Zeit des Beobachtungsortes selbst ermittelt, werden wir später sehen.

Die folgende Tabelle enthält die Länge und Breite einiger Hauptsternwarten.

Namen des Ortes.	Geographische Breite. + nördlich. — südlich.	Länge von Berlin in Zeit. + westlich. — östlich.	Oestliche Länge von Ferro in Bogen.
Berlin	+ 52° 30′ 16,7″	+ 0h 0′ 0″	31° 3′ 30,0″
Bonn	+ 50 44 9,1	+ 0 25 8,5	24 46 22,5
Greenwich	+ 51 28 38,2	+ 0 53 35,5	17 39 37,5
Kasan	+ 55 47 23,0	— 2 22 57,0	66 47 45,0
Königsberg . . .	+ 54 42 50,4	— 0 28 25,0	38 9 45,0
Madras	+ 13 4 9,2	— 4 27 28,3	97 55 34,5
München	+ 48 8 45,0	+ 0 7 9,0	29 16 15,0
Paramatta . . .	— 33 48 49,8	— 9 10 30,8	168 41 12,0
Pulkawa	+ 59 46 18,6	— 1 7 43,0	47 59 15,0
Vorgeb. d. g. Hoff.	— 33 56 3,0	— 0 20 19,5	36 8 22,5
Washington . . .	+ 38 53 32,8	+ 6 1 40,1	300 38 28,5
Wien	+ 48 12 35,5	— 0 11 56,4	34 2 36,0

Abplattung der Erde. Wenn die Erde eine vollständige Kugel wäre, so müßte die Entfernung zweier auf demselben Meridian liegender Punkte, von denen der eine genau 1° nördlicher liegt als der andere, für alle Theile des Meridians genau dieselbe sein; der Bogen vom Aequator bis zu 1° nördlicher Breite müßte also genau so lang sein wie der Bogen vom 89sten Breitegrad bis zum Pol. 20

Dies ist nun in der That nicht der Fall. Genaue Gradmessungen, welche in verschiedenen Gegenden der Erde vorgenommen wurden, haben gezeigt, daß die Länge eines Breitegrades mit der Entfernung vom Aequator zunimmt, wie man aus folgender Tabelle ersieht.

Namen des Landes.	Mittlere Breite.	Länge eines Breitegrades.
Peru	1° 31′	56736,8 Toisen
Indien	12 32	56762,3 »
Frankreich . . .	46 8	57024,6 »
England	52 2	57066,1 »
Lappland	66 20	57196,2 »

Die Meridiane sind also in der Nähe des Aequators stärker gekrümmt als an den Polen, der Aequatorialdurchmesser der Erde ist also größer als der Polar-

durchmesser, oder mit anderen Worten, die Erde ist an den Polen abgeplattet.

Die geodätischen Operationen, durch welche dergleichen Gradmessungen ausgeführt werden, können hier nicht den Gegenstand weiterer Besprechung bilden.

Newton hatte die Abplattung der Erde aus theoretischen Gründen abgeleitet; allein es fehlte an genauen Gradmessungen, welche Newton's Behauptung hätten bestätigen können, bis die französische Akademie der Wissenschaften gegen die Mitte des vorigen Jahrhunderts eine wissenschaftliche Expedition nach Peru und eine andere nach Lappland veranlaßte, um daselbst genaue Gradmessungen anzustellen. Die Gradmessung in Peru wurde von Bouguer und Condamine, die in Lappland wurde von Maupertuis, Clairaut und Outhier ausgeführt. Die Resultate dieser Messungen setzten die Abplattung der Erde außer Zweifel.

Als gegen Ende des vorigen Jahrhunderts der Nationalconvent in Frankreich ein neues Maß- und Gewichtssystem einführen wollte, entschied man sich dahin, daß die neue Längeneinheit in einem einfachen Verhältniß zur Länge eines Erdmeridians stehen sollte, und verordnete deshalb, daß eine neue möglichst genaue Gradmessung ausgeführt werden sollte, mit welcher Delambre und Mechain beauftragt wurden. Sie führten die Messung des Meridianbogens von Dünkirchen bis Barcelona aus. Später ist auf demselben Meridian noch der Bogen von Barcelona bis Formentera (durch Biot und Arago) und von Dünkirchen bis Greenwich gemessen worden. Auch diese Messungen haben gezeigt, daß in der That die Länge eines Breitegrades nach Norden hin zunimmt. Zwischen Formentera und Montjouy ist die Länge eines Breitegrades 56955,4 Toisen, zwischen Dünkirchen und Greenwich ist sie 57097,6 Toisen.

Nachdem Delambre und Mechain ihre Messung beendigt hatten, wurde eine Commission von Gelehrten ernannt, um auf dieselbe das neue Maßsystem zu gründen. Die Commission combinirte diese in Frankreich ausgeführte Gradmessung mit den früher in Peru und Lappland erhaltenen Resultaten und folgerte daraus, daß der Erdmeridian eine Ellipse sei, deren Abplattung $^1/_{292}$ betrüge und deren vierter Theil (der Bogen vom Aequator bis zum Pol) 5 130 074 Toisen lang sei. Der Zehnmillionste Theil des Erdmeridianquadranten wurde als Einheit des Längenmaßes angenommen und Meter genannt.

Das Meter wurde also zu 0,513 074 Toisen oder zu 3′ 11,296 Pariser Linien festgesetzt.

Seitdem hat man durch Discussion der älteren und neueren Gradmessungen, welche in verschiedenen Gegenden der Erde ausgeführt worden waren, gefunden, daß die Abplattung der Erde größer sei, als die französischen Gelehrten angenommen hatten, daß sie $^1/_{299}$ betrage. Diese Modification im Werthe der Abplattung zieht eine entsprechende Aenderung in der Länge des Meridianquadranten nach sich, welcher in der That nicht 10 Millionen Meter, sondern 10 000 856 Meter lang ist.

Die halbe große Axe der Meridianellipse, also der Radius des Aequators, hat den erwähnten Messungen zufolge eine Länge von 6 377 398 Metern, die

halbe kleine Axe dieser Ellipse aber, also die halbe Entfernung der beiden Erdpole beträgt 6 356 080 Meter. Der Unterschied zwischen beiden Halbmessern beträgt also 21 318 Meter.

Da 15 geographische oder deutsche Meilen auf einen Grad des Aequators gehen, so ist also der Umfang des Aequators 5400, der Aequatorialhalbmesser aber 860 deutsche Meilen. Der Polarhalbmesser ist ungefähr um 3 deutsche Meilen kleiner, als der Radius des Aequators.

Um sich eine deutliche Vorstellung von der Abplattung der Erde zu machen, denke man sich ein Umdrehungsellipsoid, dessen Aequatorialdurchmesser 1 Meter beträgt; es würde der Polardurchmesser, also die Umdrehungsaxe, ungefähr um 3 Millimeter kürzer sein müssen, wenn dieser Körper dem Erdellipsoid ähnlich sein sollte. Man begreift wohl, daß eine solche Abplattung dem bloßen Auge ganz unmerklich ist und daß genaue Messungen nöthig sind, um sie nachzuweisen.

Bedenkt man, daß der höchste Gipfel des Dhawalagiri nur 7820 Meter über der Meeresfläche liegt und daß der Chimborazo nur 6530 Meter hoch ist, so sieht man leicht, daß die Erhebungen der mächtigsten Gebirge kaum in Betracht kommen können im Vergleich zu den Dimensionen der Erde. Auf einem Erdglobus von 1 Meter Durchmesser dürften die Gebirgszüge des Himalaya in Asien und der Andes von Südamerika noch nicht die Höhe von 1 Millimeter erreichen, wenn das richtige Größenverhältniß eingehalten werden sollte.

Axendrehung der Erde. Im vorigen Capitel haben wir die tägliche 21
Bewegung der Himmelskugel sammt allen Gestirnen kennen gelernt, und es ist nun die Frage, wie diese Erscheinung zu erklären sei. Auf den ersten Anblick scheint es am einfachsten, dem unmittelbaren Eindruck sich hingebend, diese scheinbare Bewegung für eine wirkliche zu nehmen, d. h. also anzunehmen, daß die Erde feststehe und daß sich das ganze Himmelsgewölbe sammt allen Gestirnen in je 24 Stunden wirklich um die Weltaxe, und zwar in der Richtung von Ost nach West umdrehe.

Diese Ansicht war im Alterthum und durch das ganze Mittelalter hindurch wirklich die herrschende. In dem Maße aber, als sich die astronomischen Kenntnisse erweiterten, wurde die Hypothese einer wirklichen täglichen Umdrehung der Himmelskugel mehr und mehr unwahrscheinlich und mußte endlich der Lehre von der Axendrehung der Erde weichen.

In der That lassen sich alle Erscheinungen der täglichen Bewegung der Gestirne auch durch die Hypothese vollkommen erklären, daß sich die Erde in 24 Stunden in der Richtung von West nach Ost, also der scheinbaren Bewegung des gestirnten Himmels entgegen, um ihre Axe dreht.

Untersuchen wir nun, welche Gründe gegen die wirkliche Rotation des Himmels und für die Axendrehung der Erde sprechen.

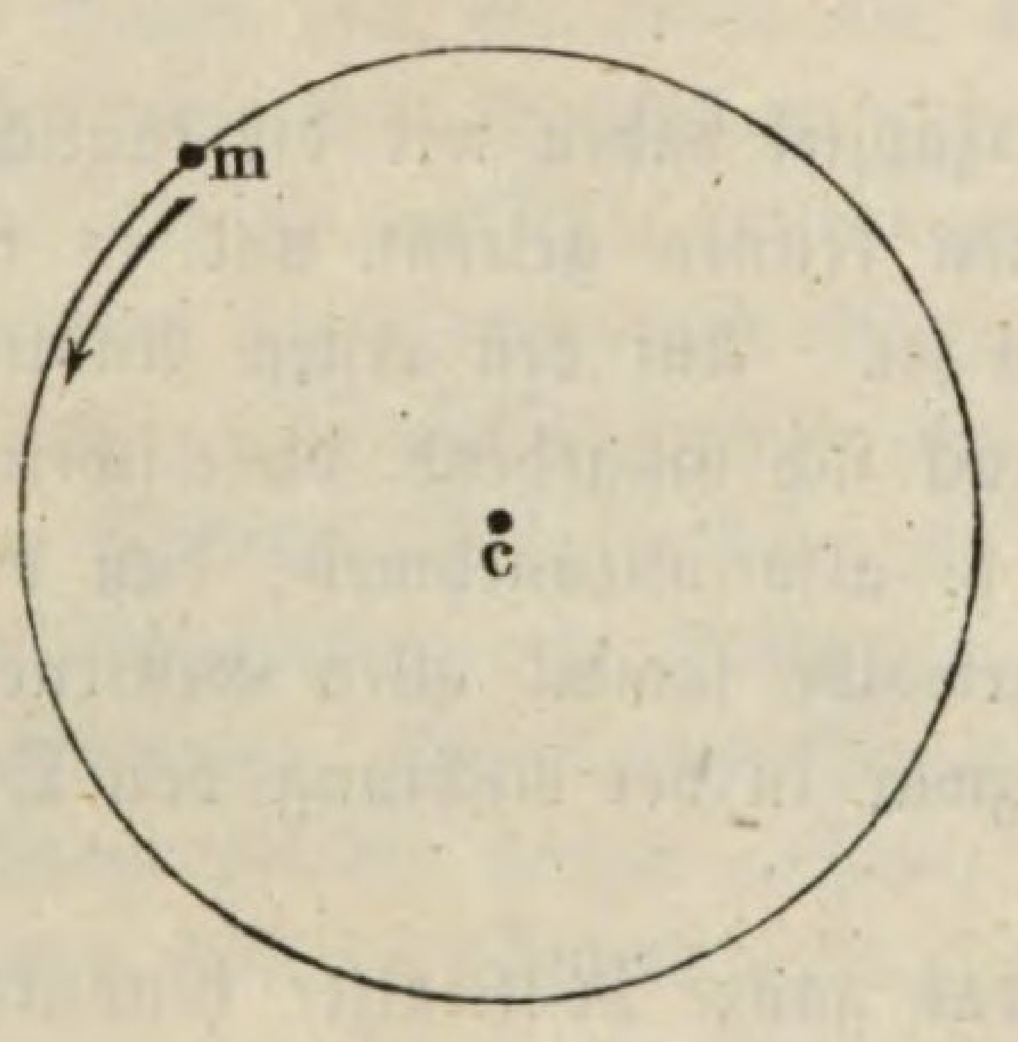
Die Dimensionen der Erde sind verschwindend klein gegen die Entfernung der Gestirne von uns; wenn sie also wirklich in 24 Stunden alle um die Erde herumlaufen sollten, so müßte die Geschwindigkeit dieser Bewegung eine ganz enorme sein.

Eine so große Geschwindigkeit ist an und für sich wenig wahrscheinlich, die Unwahrscheinlichkeit wurde aber noch auffallender, nachdem man zu der Ueberzeugung gekommen war, daß es keineswegs ein festes Himmelsgewölbe gebe, an welchem alle Gestirne gleichsam befestigt sind, daß keineswegs alle Sterne gleich weit von uns entfernt, daß wenigstens der Mond, die Sonne und die Planeten uns weit näher sind als die Fixsterne; denn nun hätte man, um die Erscheinungen der täglichen Bewegung ohne die Axendrehung der Erde zu erklären, annehmen müssen, daß die Gestirne in demselben Maße schneller in ihren täglichen Bahnen fortlaufen, in welchem sie weiter entfernt sind.

Die Unwahrscheinlichkeit einer solchen Annahme stieg bis zur Absurdität, nachdem man zu richtigen Vorstellungen über die Größe und Entfernung der Gestirne gekommen war. Das Volumen der Sonne ist fast $1^1/_2$ Millionen Mal größer, als die Erde, und eine solche Masse sollte in 24 Stunden einen Kreis durchlaufen, dessen Halbmesser 20 Millionen Meilen ist, während die winzige Erde sich nicht einmal um ihre Axe dreht!?

Selbst wenn wir der Fixsterne, welche noch unendlich weiter entfernt sind als die Sonne, gar nicht gedenken, müßten solche Betrachtungen allein schon genügen, die Hypothese von einer wirklichen täglichen Bewegung der Gestirne zu beseitigen, während sich für die Axendrehung der Erde noch weitere Beweise beibringen lassen, die wir sogleich näher betrachten wollen.

Fig. 37.



Wenn sich die Erde wirklich um ihre Axe dreht, so muß sich die Schwungkraft auf ihrer Oberfläche geltend machen, und zwar muß sie um so bedeutender werden, je mehr man sich dem Aequator nähert.

Ein Körper m, welcher den Punkt c umkreist (Fig. 37), äußert fortwährend ein Streben, sich von diesem Mittelpunkte zu entfernen, und zwar ist der Weg p, um welchen sich m in einer Secunde von c entfernen würde, wenn andere Kräfte es nicht hinderten und ihn in der Kreisbahn zurückhielten, gleich $\frac{2\pi^2 r}{t^2}$, wenn r den Halbmesser der Kreisbahn, t die Umlaufszeit in Secunden und π das Peripherieverhältniß 3,14 bezeichnet. Da $2\pi r$ gleich ist dem Umfang des Kreises, den wir mit u bezeichnen wollen, so ist

$$p = \frac{3{,}14 \,.\, u}{t^2}.$$

Der Umfang u des Kreises, welchen ein auf dem Erdäquator befindlicher Körper bei jeder vollen Umdrehung der Erde um ihre Axe zurückzulegen hat, ist nahezu gleich 40 000 000 Meter, die Umlaufszeit $t = 24$ Stunden $= 98\,400$ Secunden, und also

$$p = \frac{3{,}14 \,.\, 40\,000\,000}{98\,400^2} = 0{,}017 \text{ Meter},$$

d. h. wenn sich die Erde in 24 Stunden wirklich um ihre Axe dreht, so muß die dadurch entstehende Schwungkraft so groß sein, daß ein auf dem Erdäquator befindlicher Körper sich in einer Secunde um 0,017 Meter von dem Erdmittelpunkte entfernen würde, wenn die Schwere es nicht verhinderte.

In Folge der Axendrehung der Erde muß demnach der Weg, welchen ein frei fallender Körper in der ersten Fallsecunde durchläuft, am Aequator um 0,017 Meter kleiner sein als an den Polen.

Der Fallraum der ersten Secunde in der Nähe der Pole beträgt 4,909 Meter; ist derselbe nun am Aequator in der That um 0,017 Meter kleiner, so wäre demnach die Kraft, mit welcher ein Körper gegen die Erdoberfläche niedergezogen wird, in Folge der Axendrehung am Aequator um $^1/_{292}$ kleiner als an den Polen.

Eine solche Verminderung der Schwerkraft von den Polen nach dem Aequator hin findet aber in der That Statt. Beim freien Fall der Körper sie nachzuweisen, würde freilich schwer halten; wir besitzen aber im Pendel ein viel empfindlicheres Mittel, die Intensität der Schwere zu messen, und die Pendelversuche bestätigen diese Abnahme vollständig.

Im Jahre 1672 machte der französische Astronom Richer eine wissenschaftliche Reise nach Cayenne, welches nur 5° nördlich vom Aequator liegt. Als er hier seine Pendeluhr aufstellte, deren Gang zu Paris genau war regulirt worden, fand er, daß sie täglich $2^1/_2$ Minuten nachging; er mußte das Pendel nahe um $^5/_4$ Linien verkürzen, um den richtigen Gang wieder herzustellen. Es konnte dies um so weniger einer Störung der Uhr während der Reise zugeschrieben werden, als die Uhr, nach Paris zurückgebracht, nun wieder 148 Secunden täglich vorging, so daß das Pendel wieder auf seine ursprüngliche Länge gebracht werden mußte.

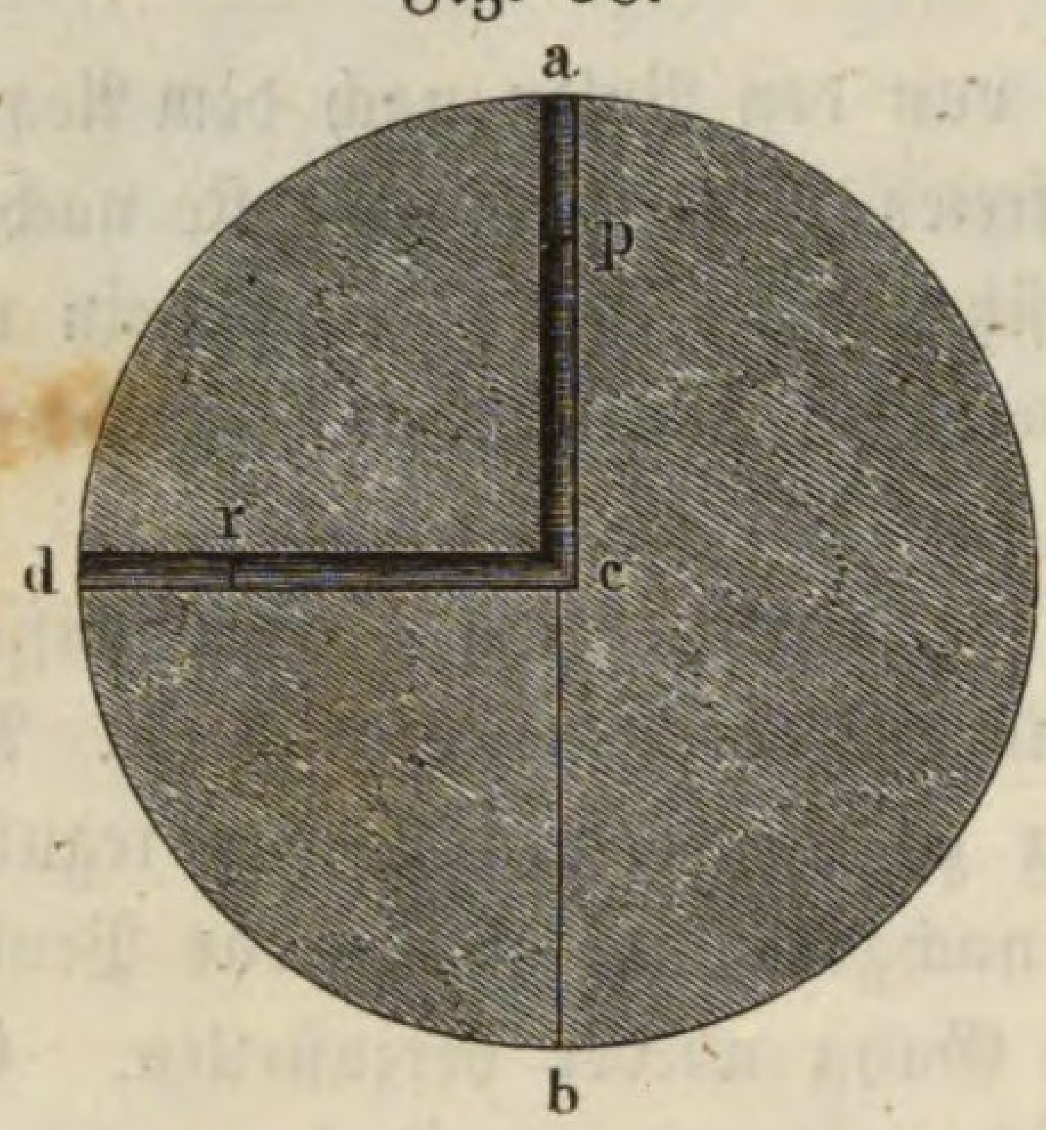
Man stellte später die genauesten Beobachtungen in verschiedenen Gegenden der Erde an, um die Länge des Secundenpendels zu ermitteln. Die folgende Tabelle enthält eine Reihe solcher von Sabine gemachten Bestimmungen.

Ort.	Breite.	Länge des Secundenpendels in Pariser Zollen.
St. Thomas	0° 24′ 41″	39,012
Ascension	7 55 48 S.	39,024
Jamaika	17 56 7 N.	39,035
New-York	40 42 43 N.	39,101
London	51 31 8 N.	39,139
Drontheim	63 25 54 N.	39,174
Spitzbergen	79 49 58 N.	39,215.

Da nun die beschleunigende Kraft der Schwere der Länge des Secundenpendels proportional ist, so ist durch diese Versuche erwiesen, daß in der That die Schwerkraft von den Polen nach dem Aequator hin abnimmt, und diese Abnahme ist im Wesentlichen durch die von der Axendrehung der Erde herrührende Schwungkraft bedingt.

Die Abplattung der Erde selbst, welche wir im vorigen Paragraphen kennen lernten, ist eine Folge ihrer Axendrehung. Um dies darzuthun, wollen wir uns die Erde zunächst als eine feste Kugel denken, in welcher sich zwei Canäle *ac* und *de* befinden, welche im Mittelpunkte der Erde zusammentreffen, und von denen der eine beim Nordpol *a*, der andere an einem Punkte *d* des Aequators mündet (Fig. 38). Diese beiden Canäle seien nun mit Wasser gefüllt, so werden beide Wassersäulen durch die Schwerkraft gegen den Mittelpunkt *c* hin angezogen, und zwar gleich stark, wenn keine Axendrehung stattfindet; in diesem Falle werden die Wassersäulen *cd* und *ca* gleich hoch sein müssen, wenn Gleichgewicht stattfinden soll. In Folge der Rotation um die Axe *ab* wird aber der Zug der Schwere, den eine bei *d* befindliche Wasserschicht erleidet, wie wir gesehen haben, um $1/_{292}$ vermindert.

Fig. 38.



Betrachten wir aber eine zweite in der Aequatorialröhre liegende Wasserschicht bei *r*, welche nur $\frac{1}{n}$ so weit von *c* entfernt ist wie *d*, so ist hier freilich die Schwungkraft *n* mal geringer, allein auch die Kraft, mit welcher die Schicht *r* gegen *c* hin gezogen wird, ist, wie sich aus dem Gesetz der allgemeinen Massenanziehung ergiebt, *n* mal kleiner als das Gewicht einer gleichen Wasserschicht bei *d*; mithin ist auch hier bei *r* der Zug der Schwere gegen *c* durch die Schwungkraft um $1/_{292}$ kleiner, als sie ohne die Rotation der Erde sein würde, sie ist um $1/_{292}$ kleiner als die Zugkraft, welche auf die gleich weit von *c* abstehende Schicht *p* in der Polarröhre wirkt. Da nun dasselbe für alle entsprechenden Schichten der beiden Röhren gilt, so ist klar, daß in Folge der Axendrehung der Erde die Gesammtkraft, welche das Wasser in der Röhre *dc* gegen den Erdmittelpunkt treibt, um $1/_{292}$ kleiner ist, als die entsprechende Kraft, welche auf das Wasser in der Röhre *ca* wirkt, wenn also Gleichgewicht stattfinden soll, so muß die Wassersäule in der Aequatorialröhre *cd* um $1/_{292}$ länger sein als die Wassersäule in der Polarröhre *ca*.

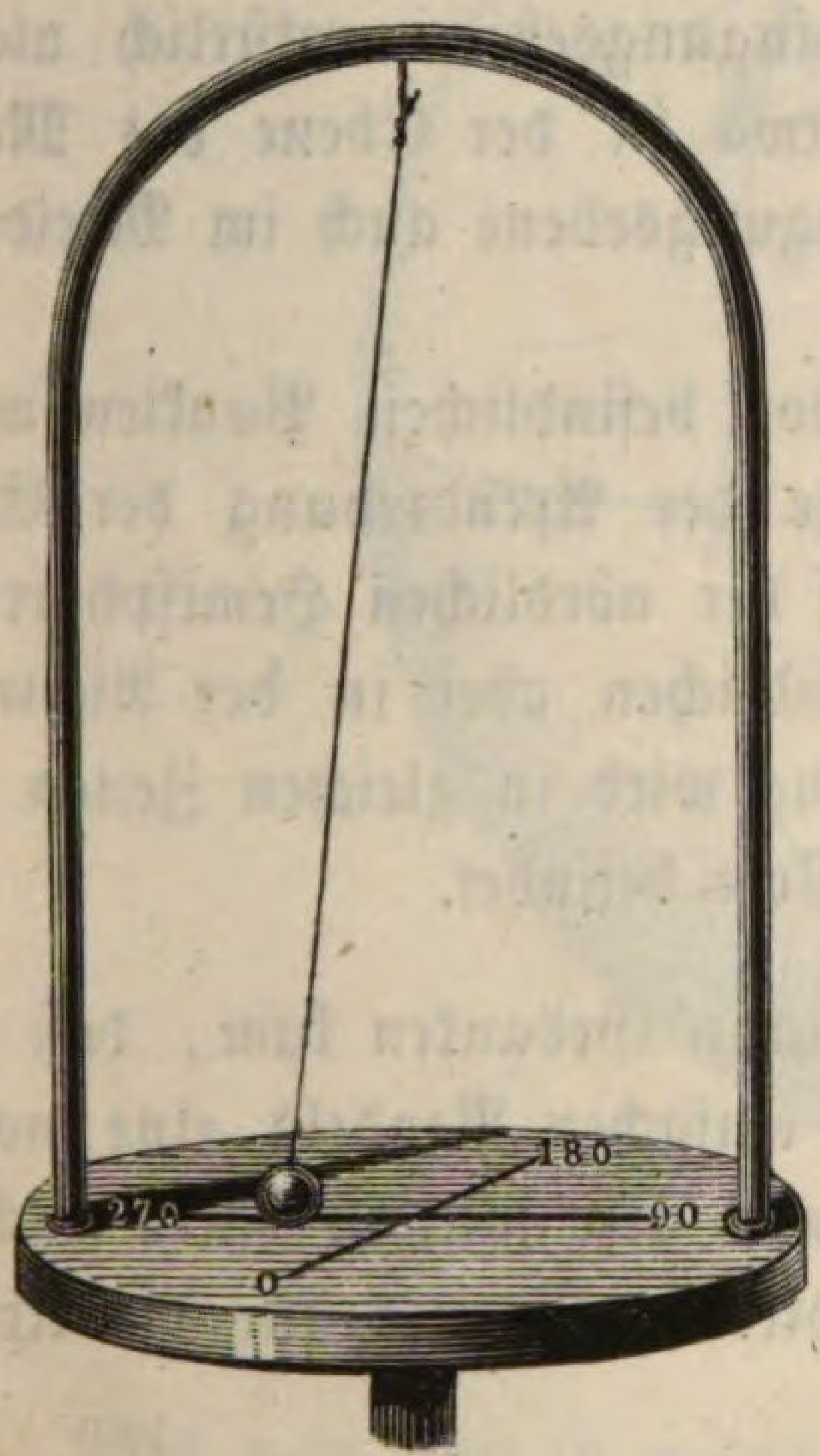
Wäre die ganze Erde eine flüssige, in 24 Stunden um ihre Axe rotirende Masse, so müßte offenbar zwischen dem Aequatorial- und dem Polarhalbmesser dasselbe Größenverhältniß bestehen, wie wir es eben für die Wassersäulen in den hypothetischen Röhren berechnet haben, oder, mit anderen Worten, die Erde müßte eine Polarabplattung von $1/_{292}$ zeigen. Die auf diesem Wege berechnete Abplat-

tung stimmt beinahe vollständig mit der durch Gradmessungen ermittelten überein, und diese Uebereinstimmung würde noch größer sein, wenn man alle hier influirenden Umstände bei der Rechnung berücksichtigt hätte. Es unterliegt demnach wohl keinem Zweifel, daß die Abplattung der Erde eine Folge ihrer Axendrehung ist, und daß sie zu der Zeit, als sie sich noch im flüssigen Zustande befand, schon dieselbe Axendrehung hatte wie gegenwärtig.

Foucault's Pendelversuch. Ein einfaches Pendel, welches in einer 22
bestimmten Ebene schwingt, wird seine Oscillationsebene unverändert beibehalten, wenn nicht äußere Kräfte es aus derselben verdrängen.

Es läßt sich dies sehr leicht mit Hülfe der Vorrichtung, Fig. 39, welche auf irgend eine verticale Umdrehungsaxe, etwa auf die einer Schwungmaschine aufgesteckt werden kann, bewerkstelligen. Auf einem horizontalen runden Brette ist ein Bügel von Metalldraht befestigt, von dessen Mitte ein Faden herabhängt, welcher eine Bleikugel trägt. In seiner Gleichgewichtslage fällt dieses einfache Pendel mit der Umdrehungsaxe des Apparates zusammen.

Fig. 39.



Bringt man das Pendel in der Richtung der mit 0 — 180 bezeichneten Linie aus seiner Gleichgewichtslage, so wird es, alsdann sich selbst überlassen, über der Linie 0 — 180, also rechtwinklig zur Ebene des Bügels hin- und herschwingen, so lange der ganze Apparat in Ruhe bleibt.

Wird aber die Scheibe um ihre verticale Axe langsam umgedreht, so wird die Schwingungsebene des Pendels dessenungeachtet unverändert bleiben, es wird also der Reihe nach ein Durchmesser der Scheibe nach dem andern unter der Schwingungsebene des Pendels hindurchgehen. Nach einer Viertel-Umdrehung der Scheibe nimmt der Durchmesser 90 — 270 dieselbe Stellung ein, die ursprünglich 0—180 einnahm, in diesem Augenblick wird also das Pendel in der Ebene des Bügels oscilliren und in Beziehung auf die Scheibe erscheint jetzt die Schwingungsebene des Pendels um 90° gedreht. Dauert die Drehung der Scheibe in gleicher Richtung fort, so wird allmälig der Bogen von 90—180, dann der von 180 — 270 u. s. w. unter der Schwingungsebene des Pendels hingehen. In dem Maße, in welchem die Scheibe von der Rechten zur Linken gedreht wird, in dem Maße scheint sich in Beziehung auf die Ebene die Schwingungsebene des Pendels in entgegengesetzter Richtung, also von der Linken zur Rechten zu drehen.

In demselben Verhältniß, wie dieses Pendel zur gedrehten Scheibe, würde sich offenbar ein gerade über dem einen Pol, etwa dem Nordpol der Erde, aufge-

hängtes Pendel zur Erdoberfläche verhalten. Nehmen wir an, das Pendel werde in der Ebene der Meridiane 0 und 180° in Schwingung versetzt, so wird es in dieser Schwingungsebene, der Ebene also, welche die genannten Meridiane zu Anfang der Oscillationen einnahmen, verharren, während die Ebene der Meridiane 0—180° selbst ihre Stellung verändert, indem sie sich um die Erdaxe dreht, deren Verlängerung die Gleichgewichtslage des Pendels bildet.

Bei der fortdauernden Rotation der Erde werden der Reihe nach die verschiedenen Meridiane unter der Schwingungsebene des Pendels durchpassiren; in Beziehung auf die Erdoberfläche scheint sich also die Schwingungsebene des Pendels zu drehen und zwar in der Richtung von Ost nach West, weil die Erde in entgegengesetzter Richtung rotirt.

Ein an irgend einer Stelle des Erdäquators aufgehängtes Pendel kann von einer solchen scheinbaren Drehung der Schwingungsebene natürlich nichts zeigen. Hat man auf dem Aequator ein Pendel etwa in der Ebene des Meridians in Schwingung versetzt, so wird die Schwingungsebene auch im Meridian bleiben.

An allen zwischen dem Pol und dem Aequator befindlichen Punkten wird nun die Schwingungsebene des Pendels in Folge der Axendrehung der Erde eine solche Drehung zeigen müssen, und zwar auf der nördlichen Hemisphäre in der Richtung Ost, Süd, West u. s. w., auf der südlichen aber in der Richtung Ost, Nord, West u. s. w. Die Größe dieser Drehung wird in gleichen Zeiten um so bedeutender sein, je näher man sich dem einen Pole befindet.

Foucault war es, der zuerst auf den glücklichen Gedanken kam, daß die scheinbare Drehung der Schwingungsebene eines einfachen Pendels eine nothwendige Folge der Umdrehung der Erde sei, daß man also mittelst eines solchen Pendels, welches stundenlang fortschwingt, einen directen Beweis für die Axendrehung der Erde liefern kann.

Der Versuch bestätigte seine Erwartung vollständig. Das erste Pendel, mit dem er experimentirte, war nur 2 Meter lang und hatte eine 5 Kilogramm schwere Kugel. Nachdem er an demselben die Erscheinung zuerst beobachtet hatte, wiederholte er den Versuch mit einem 11 Meter langen Pendel im Meridiansaale der Pariser Sternwarte und endlich mit einem Pendel von 67 Meter Länge im Pantheon zu Paris, welches zu Anfang des Jahres 1852 in hohem Grade das Interesse des großen Publicums erregte.

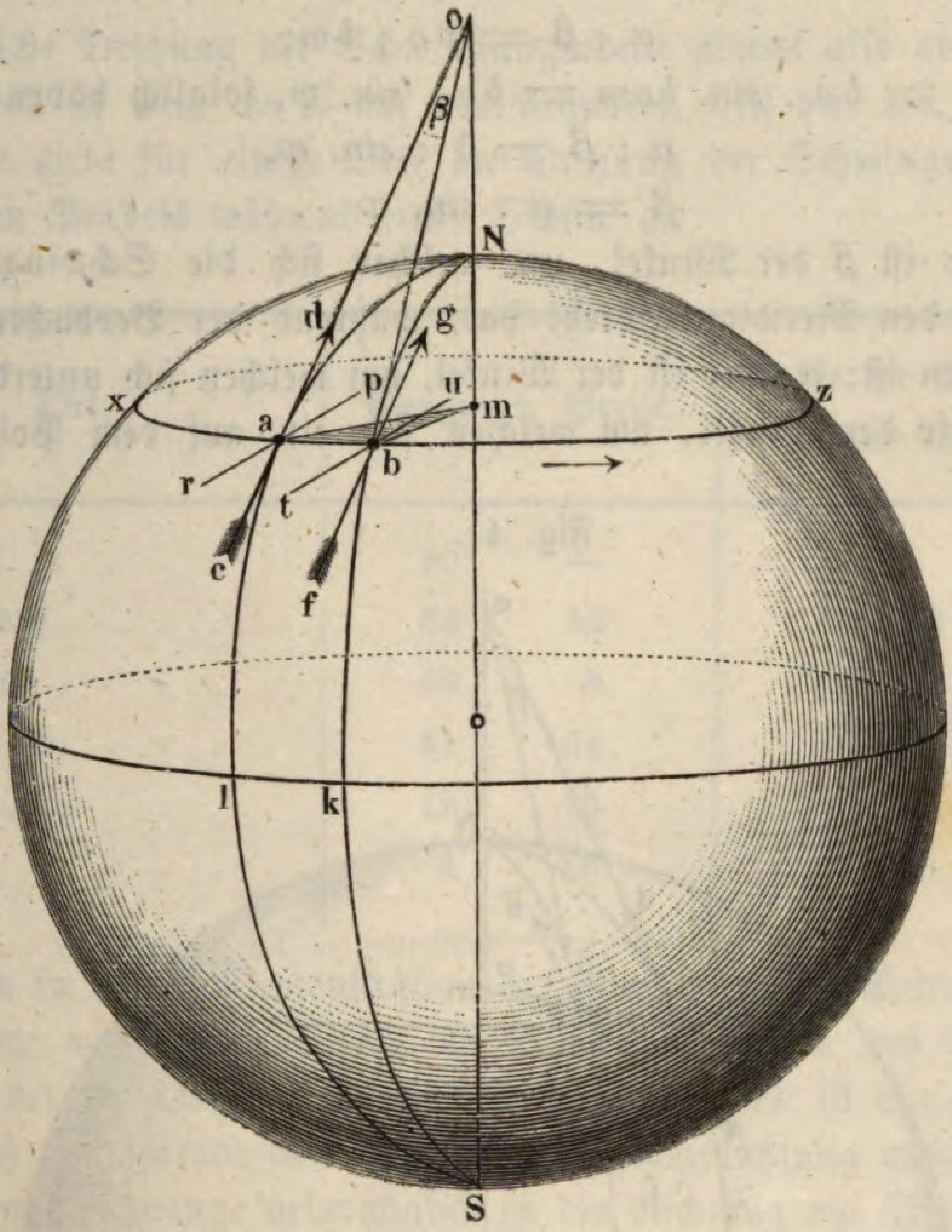
Die unten mit einer Spitze versehene Kugel dieses Pendels wog 28 Kilogramm und hing an einem Stahldraht. Bei dieser Masse des Pendels sind seine Schwingungen nach 5 bis 6 Stunden noch hinreichend groß, um deutlich beobachtet zu werden, wenn die Kugel ursprünglich etwa um 10 Fuß aus ihrer Gleichgewichtslage entfernt worden war.

Untersuchen wir nun, welches die Größe der scheinbaren Drehung der Schwingungsebene, welche am Pol offenbar 15° in der Stunde beträgt, für verschiedene Orte der Erdoberfläche sein muß.

Fig. 40 stelle die Erdkugel, NS die Umdrehungsaxe derselben vor; es sei

ferner *xabz* der Parallelkreis, auf welchem der Pendelversuch angestellt wird, und *m* sei der Mittelpunkt dieses Parallelkreises.

Fig. 40.



Läßt man nun in *a* das Pendel schwingen, so wird die Linie, welche die Pendelkugel bei ihrem Hin- und Hergange beschreibt, eine gerade Linie sein (wenn man von der geringen Krümmung abstrahirt), welche in der Horizontalebene von *a* liegt. Läßt man das Pendel gerade in der Richtung des Meridians, also in der Richtung schwingen, welche in unserer Figur durch den Pfeil *cd* bezeichnet ist, so ist die verlängerte Schwingungslinie jedenfalls eine Tangente an den Meridian *Nal*. Diese Tangente schneidet die verlängerte Erdaxe in *o*. Der Winkel *aom* ist die geographische Breite des Ortes *a*, welche wir mit φ bezeichnen wollen.

In Folge der Axendrehung der Erde gelangt aber der Punkt *a* nach einiger Zeit an die mit *b* bezeichnete Stelle und die in *b* an den Meridian gelegte Tangente hat jetzt die Lage *bo*, die Pendelkugel aber, welche vermöge der Trägheit ihre ursprüngliche Schwingungsrichtung beizubehalten strebt, oscillirt parallel mit *cd* in der Richtung *fg*, die Schwingungen des Pendels fallen also jetzt nicht mehr mit der Richtung des Meridians zusammen, sondern sie machen mit demselben einen Winkel *gbo*, dessen Werth wir nun ermitteln wollen.

Der Winkel *gbo* und der Winkel *aob* sind Wechselwinkel, folglich ist

$gbo = boa$ (Fig. 41). Betrachten wir aber die Dreiecke abo und abm, welche die Seite ab gemeinschaftlich haben, so ist klar, daß sich der Winkel amb (den wir mit α bezeichnen wollen) zu dem Winkel boa (der durch β bezeichnet sein mag) verhält wie bo zu bm, oder daß

$$\alpha : \beta = bo : bm;$$

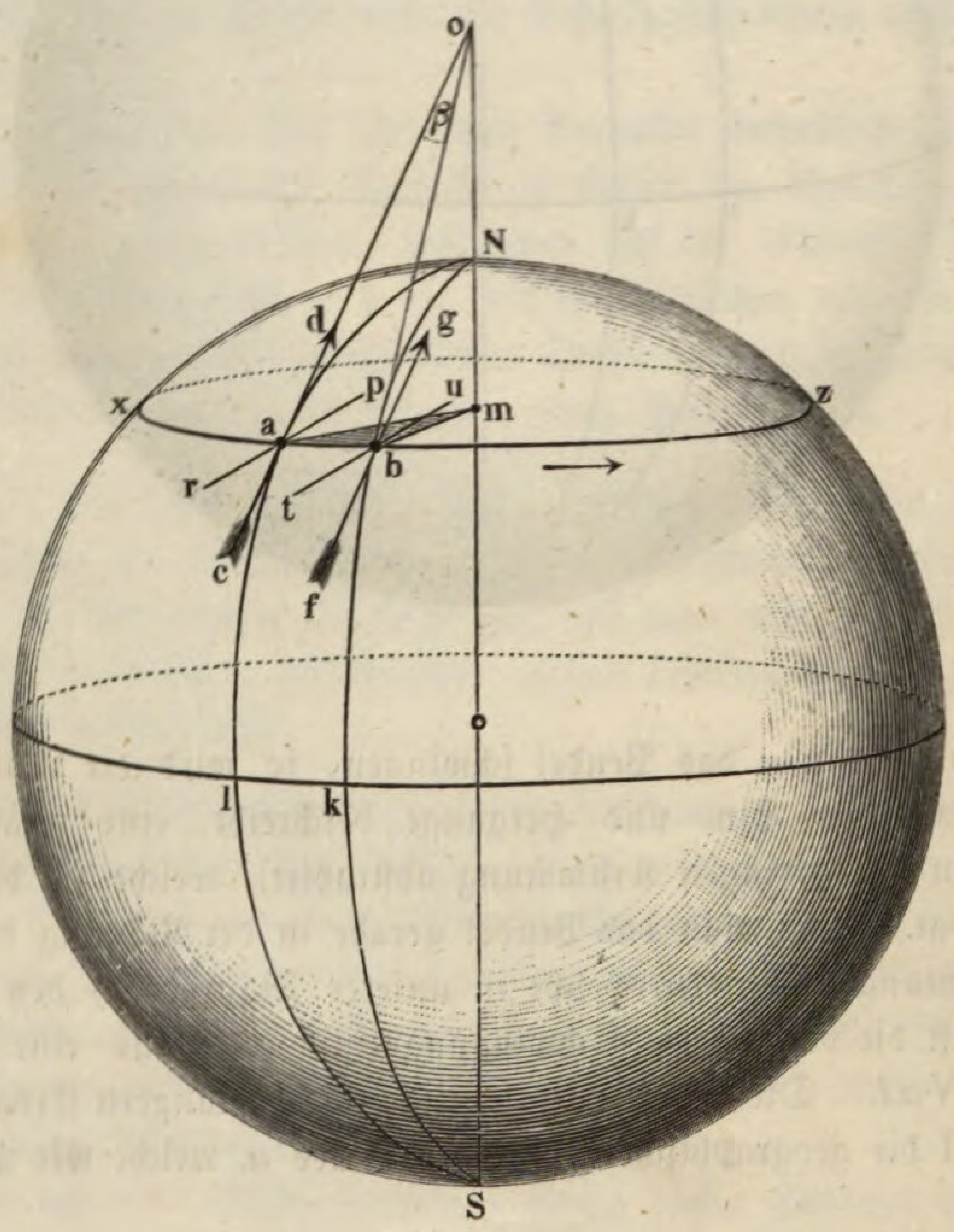
es ist aber $bm = bo \,.\, sin.\, bom = bo \,.\, sin.\, \varphi$, folglich haben wir:

$$\alpha : \beta = 1 : sin.\, \varphi,$$

$$\beta = \alpha \,.\, sin.\, \varphi \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (1).$$

Nun aber ist β der Winkel, um welchen sich die Schwingungsebene des Pendels gegen den Meridian gedreht hat, während der Beobachtungsort von a nach b gegangen ist; α aber ist der Winkel, um welchen sich unterdessen die Erde gedreht hat, also der Winkel, um welchen sich ein auf dem Pol aufgehängtes

Fig. 41.



Pendel in derselben Zeit gegen den Meridian gedreht haben würde. Nach der obigen Gleichung bei 1) erhält man also die Größe, um welche sich die Schwingungsebene des Foucault'schen Pendels an irgend einem Orte in einer gegebenen Zeit drehen muß, wenn man die gleichzeitige Drehung des Polarpendels mit dem Sinus der geographischen Breite multiplicirt.

Da sich nun die Schwingungsebene eines auf dem Pole aufgehängten

einfachen Pendels in einer Stunde um 15° dreht, so ist 15 . $sin. \varphi$ die Anzahl der Grade, um welche sich in einer Stunde die Schwingungsebene des Foucault'schen Pendels an einem Orte drehen muß, dessen geographische Breite φ ist.

Die fragliche Drehung der Schwingungsebene nimmt also ab mit der Entfernung vom Pol, sie wird = 0 auf dem Aequator, weil hier $sin. \varphi = 0$. Die folgende Tabelle giebt für einige Orte die Drehung der Schwingungsebene des Foucault'schen Pendels während einer Stunde an:

Ort.	Geograph. Breite.		Größe der Drehung in einer Stunde.
Nordpol	90°	—	15°
Königsberg	54°	42′	12,83
München	48	8	11,31
Rom	41	54	10,16
Mexico	19	25	5,04
Cayenne	4	56	1,31.

Wir waren in obiger Demonstration der Einfachheit der Betrachtung wegen von der Annahme ausgegangen, daß die Schwingungsebene des Pendels in *a* ursprünglich in der Richtung des Meridians stattfinde; es ist übrigens durchaus nicht nöthig, daß man gerade von dieser Schwingungsrichtung ausgehe. Nehmen wir an, das Pendel schwinge ursprünglich in der Richtung *rp* (Fig. 41), welche einen Winkel *pad* mit dem Meridian macht, so wird, wenn der Beobachtungsort von *a* nach *b* gelangt ist, nun die Schwingungsrichtung *tu* des Pendels einen Winkel *ubo* mit dem Meridian machen, welcher um *gbo*, also um β größer ist als *pad*, die Schwingungsebene hat sich also auch jetzt scheinbar um den Winkel β nach Osten gedreht, also gerade so viel, als ob die Schwingungen in der Meridianebene begonnen hätten.

Obgleich die Axendrehung der Erde schon vorher zu den unzweifelhaftesten Lehren der Physik gezählt wurde, so erregte doch der Foucault'sche Pendelversuch in der ganzen physikalischen Welt das größte Interesse; er wurde an vielen Orten wiederholt und überall bestätigt gefunden, wo man hinreichend lange Pendel mit genügender Sorgfalt aufgehängt und Alles beseitigt hatte, was störend auf die Regelmäßigkeit des Ganges hätte einwirken können.

Zu den gelungensten Wiederholungen des Foucault'schen Pendelversuchs in Deutschland sind besonders die von Schwerd im Speyerer und die von Garthe im Kölner Dome angestellten zu rechnen.

Drittes Capitel.

Die Sonne und die Beziehungen der Erde zu derselben.

---

23 **Ortsveränderung der Sonne am Himmelsgewölbe.** Daß die Sonne ihre Stellung am Fixsternhimmel fortwährend ändert, geht schon aus der oberflächlichsten Beobachtung hervor. Während sie nämlich gegen Ende März gerade im Osten aufgeht, geht sie im Sommer weit mehr nördlich, im Winter weit mehr südlich auf. Im Sommer ist ihr Tagbogen, im Winter ist ihr Nachtbogen größer, und daraus folgt, daß sie während des Sommers nördlich, während des Winters südlich vom Himmelsäquator steht. Aber nicht allein rechtwinklig zu dem Aequator bewegt sich die Sonne, sondern auch parallel mit demselben, was daraus hervorgeht, daß zu derselben Tageszeit in verschiedenen Jahreszeiten immer andere Sterne culminiren, wie wir bereits Seite 17 gesehen haben.

Am 10. Januar culminiren um Mitternacht: Castor und Pollux im Sternbild der Zwillinge und Procyon im Sternbild des kleinen Hundes. Daraus folgt, daß die Rectascension der Sonne um diese Zeit um 180° größer ist, als die der genannten Sterne, daß sie also der Sternkarte Tab. IV. zufolge ungefähr 294° beträgt. Da nun ferner am 10. Januar die südliche Declination der Sonne ungefähr 20° ist, so lehrt ein Blick auf die erwähnte Karte, daß um diese Zeit die Sonne im Sternbild des Schützen steht. Daß also Leyer, Schwan, Adler u. s. w. diejenigen Sternbilder sind, welche gerade an dem bezeichneten Tage zur Mittagszeit dem Meridian nahe stehen.

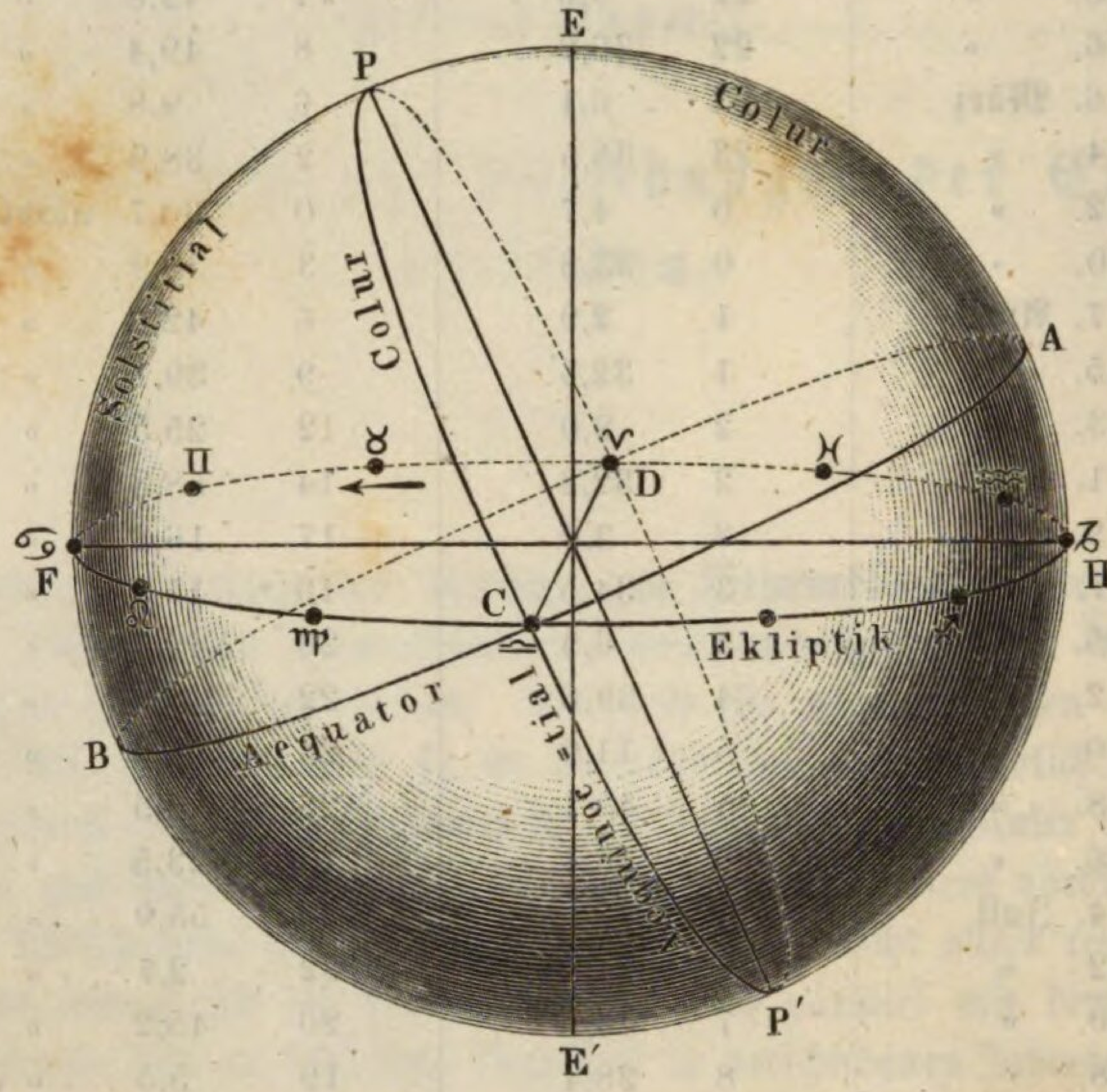
Die Bahn, welche die Sonne am Himmel zurücklegt und welche den Namen der Ekliptik führt, ergiebt sich ganz einfach, wenn man nach der in Cap. I, §. 12 entwickelten Methode in bestimmten Zeitintervallen, etwa von Tag zu Tag, die Rectascension und Declination der Sonne bestimmt.

Die folgende Tabelle giebt die Rectascension und Declination der Sonne für das Jahr 1855 von 8 zu 8 Tagen, und zwar im Moment des wahren Berliner Mittags.

Tag.	Rectascension.		Declination.		
1. Januar	18h.	45,8′	23°	2,5′	südlich
9. »	19	21,0	22	9,2	»
17. »	19	55,5	20	48,3	»
25. »	20	29,4	19	2,1	»
2. Februar	20	58,2	17	10,9	»
10. »	21	34,4	14	26,5	»
18. »	22	5,6	11	43,8	»
26. »	22	36,2	8	49,4	»
6. März	23	6,1	6	9,8	»
14. »	23	35,5	2	38,9	»
22. »	0	4,7	0	30,7	nördlich
30. »	0	33,8	3	38,9	»
7. April	1	2,9	6	42,6	»
15. »	1	32,3	9	39,1	»
23. »	2	2,0	12	25,5	»
1. Mai	2	32,2	14	58,8	»
9. »	3	3,0	17	16,3	»
17. »	3	34,5	19	15,5	»
25. »	4	6,5	20	42,7	»
2. Juni	4	39,0	22	9,2	»
10. »	5	11,9	23	0,0	»
18. »	5	45,1	23	25	»
26. »	6	18,4	23	23,5	»
4. Juli	6	57,5	22	55,9	»
12 »	7	24,3	22	2,7	»
20. »	7	56,7	20	45,2	»
28. »	8	28,4	19	5,5	»
5. August	8	59,5	17	5,6	»
13. »	9	30,0	14	48,0	»
21. »	9	59,9	12	15,2	»
29. »	10	29,3	9	30,0	»
6. Septemb.	10	58,3	6	35,2	»
14. »	11	27,1	3	33,3	»
22. »	11	55,8	0	27,3	»
30. »	12	24,6	2	39,9	südlich
8. Octbr.	12	53,7	5	45,4	»
16. »	13	23,3	8	46,2	»
24. »	13	53,5	11	39,0	»
1. Novbr.	14	24,4	14	20,4	»
9. »	14	56,1	16	49,2	»
17. »	15	28,8	18	55,7	»
25. »	16	2,3	20	42,5	»
3. Decbr.	16	36,7	22	4,7	»
11. »	17	11,7	22	59,7	»
19. »	17	47,1	23	25,6	»
27. »	18	22,6	23	21,5	»

Nach obiger Tabelle sind die Sonnenorte der genannten Tage in der Sternkarte Tab. IV. eingetragen und durch eine krumme Linie verbunden. Bei genauerer Untersuchung ergiebt sich nun, daß die Bahn, welche die Sonne im Laufe eines Jahres auf dem Himmelsgewölbe durchläuft, ein größter Kreis ist, wie man am leichtesten übersieht, wenn man die Sonnenorte der obigen Tabelle nicht in einer ebenen Himmelskarte, sondern auf einem Himmelsglobus aufträgt. Fig. 42 dient dazu, die gegenseitige Lage des Himmelsäquators und der

Fig. 42.



Ekliptik anschaulich zu machen. *PP′* ist die Axe der Himmelskugel, *ACBD* ist der Aequator, *HCFD* die Ekliptik. Diese beiden Kreise schneiden sich in den Punkten *D* und *C*, welche den Namen die Aequinoctialpunkte führen, weil in der Zeit, wo die Sonne sich in denselben, also auf dem Himmelsäquator befindet, Tag und Nacht gleich sind. Den einen dieser Punkte passirt die Sonne am 21. März, den anderen am 22. September.

Aus der Sternkarte Tab. IV. ersehen wir, daß der Punkt, in welchem die Sonne am 21. März den Aequator passirt, im Sternbild der Fische liegt. Dies ist der Punkt des Frühlingsäquinoctiums, der Punkt, von welchem aus die Rectascension der Gestirne gezählt wird. Man nennt diesen Punkt auch kurz den Frühlingspunkt.

Der Punkt des Herbstäquinoctiums, der Herbstpunkt, welchen die Sonne am 22. September passirt, liegt im Sternbild der Jungfrau. Vom 21. März bis zum 22. September bleibt die Sonne auf der nördlichen Hemisphäre des Himmels; am 22. September tritt sie auf die südliche Halbkugel, welche sie erst am 21. März wieder verläßt.

Am 22. Juni erreicht die Sonne ihre größte nördliche, am 22. December ihre größte südliche Declination von 23° 28′, woraus sich ergiebt, daß der Winkel, welchen die Ebene der Ekliptik mit der Ebene des Aequators macht, 23° 28′ beträgt. Dieser Winkel wird die Schiefe der Ekliptik genannt.

Die Punkte *F* und *H*, Fig. 42, in welchen die Sonne ihre größte nördliche und ihre größte südliche Declination erreicht, heißen die Punkte der Sonnenwende oder die Solstitialpunkte.

Die Kreise *PDP′C* und *PBP′A*, Fig. 42, werden Coluren genannt, und zwar ist der Kreis, welcher durch die beiden Himmelspole und die Aequinoctialpunkte *C* und *D* geht, der Aequinoctialcolur, während der Kreis, welcher durch die Himmelspole und die Solstitialpunkte *F* und *H* geht, der Solstitialcolur genannt wird.

Die Ebenen der beiden Coluren machen einen Winkel von 90° mit einander.

Pol der Ekliptik, Länge und Breite am Himmel. Je zwei größte Kreise der Himmelskugel, welche rechtwinklig auf der Ekliptik stehen, schneiden sich in den Punkten *E* und *E′*, welche sich zu der Ekliptik gerade so verhalten, wie der Nord- und Südpol des Himmels zu dem Himmelsäquator; diese Punkte sind die Pole der Ekliptik. 24

Da der Solstitialcolur auch rechtwinklig auf der Ekliptik steht, so müssen die Pole der Ekliptik nothwendig auf dem Solstitialcolur liegen, und zwar stehen sie auf diesem Solstitialcolur um 90° von den Solstitialpunkten *F* und *H* der Ekliptik ab, sie liegen also 23° 28′ von den Polen *P* und *P′* des Aequators entfernt.

Der nördliche Pol der Ekliptik liegt in dem Sternbilde des Drachen; in der Sternkarte Tab. III. ist er besonders bezeichnet.

Die Ekliptik kann zur Ortsbestimmung auf der Himmelskugel ebenso dienen, wie der Himmelsäquator. Denkt man sich durch irgend einen Stern und den Pol der Ekliptik einen größten Kreis gelegt, so heißt das Bogenstück zwischen dem Stern und der Ekliptik die Breite des Sternes; man kann die Breite eines Sternes auch als den Winkelabstand derselben von der Ekliptik bezeichnen.

Die Länge des Sternes aber ist der auf der Ekliptik nach Osten gezählte Bogen vom Frühlingspunkte an bis zu dem Punkte, in welchem der durch den Stern und den Pol der Ekliptik gelegte größte Kreis die Ekliptik schneidet.

Man sieht also, daß Länge und Breite für die Himmelskugel eine andere Bedeutung haben, als für die Erdkugel. Auf der Erdkugel sind die Längen auf dem Aequator, auf der Himmelskugel werden sie auf der Ekliptik abgelesen.

Da sich die Sonne auf der Ekliptik nach Osten hin fortbewegt, so nimmt ihre Breite von Tag zu Tag zu, bis sie zur Zeit des Frühlingsäquinoctiums wieder in dem Punkte anlangt, von welchem aus die Länge gezählt wird, nämlich im Frühlingspunkte.

Die folgende Tabelle giebt die Länge der Sonne von 8 zu 8 Tagen für den wahren Berliner Mittag im Jahre 1855:

Tag.	Länge.	Tag.	Länge.	Tag.	Länge.
1. Januar.	280° 32,6′	1. Mai.	40° 29,6′	6. Septbr.	163° 15,8′
9. »	288 41,7	9. »	48 14,0	14. »	171 3,0
17. »	296 50,7	17. »	55 57,0	22. »	178 52,1
25. »	304 59,1	25. »	63 38,4	30. »	186 43,1
2. Februar.	313 6,4	2. Juni.	71 18,3	8. Octbr.	194 36,5
10. »	321 12,4	10. »	78 57,4	16. »	202 32,1
18. »	329 17,2	18. »	86 35,9	24. »	210 29,8
26. »	337 20,2	26. »	94 13,7	1. Novbr.	218 29,4
6. März.	345 21,1	4. Juli.	101 51,2	9. »	226 31,2
14. »	353 20,1	12. »	109 28,9	17. »	234 34,9
22. »	1 17,2	20. »	117 7,0	25. »	242 40,0
30. »	9 11,9	28. »	124 45,5	3. Decbr.	250 46,5
7. April.	17 4,4	5. August.	132 24,8	11. »	258 54,3
15. »	24 54,9	13. »	140 5,5	19. »	267 2,9
23. »	32 43,3	21. »	147 47,4	27. »	275 11,9
		29. »	155 30,7		

Da die Sonne die Ekliptik nicht genau in 365 Tagen durchläuft, sondern dazu nahe 365¼ Tag braucht, so wird sie auch am Mittag eines bestimmten Tages nicht genau an derselben Stelle der Ekliptik stehen, an welcher sie sich an dem Mittag desselben Tages im vorigen Jahre befand. So war z. B. die Länge der Sonne zur Zeit des wahren Berliner Mittags am 22. März 1854 gleich 1° 31,5′. Am Mittag des 22. März 1855 hat sie diesen Punkt noch nicht wieder erreicht, da ihre Länge zu dieser Zeit nur 1° 17,2′ beträgt. Daraus ergiebt sich nun, daß auch Rectascension und Declination der Sonne, für den wahren Mittag der gleichen Monatstage in verschiedenen Jahren nicht dieselbe sein kann.

Auf diese Weise würde die Länge der Sonne für den gleichen Jahrestag fortwährend abnehmen, wenn man nicht alle 4 Jahre durch Einschaltung eines Tages (Schalttag) eine Ausgleichung zu Stande brächte, von welcher weiter unten ausführlicher die Rede sein soll.

Die astronomischen Jahrbücher oder Ephemeriden, welche stets auf einige Jahre voraus berechnet werden, enthalten für jeden Tag des Jahres und zwar für den wahren Mittag der Sternwarte, auf welche sie sich beziehen, die Länge, die Rectascension und die Declination der Sonne bis auf Bruchtheile von Secunden genau.

Der Thierkreis. Die Sternbilder, welche die Sonne durchläuft, sind 25
Tab. IV. der Reihe nach: die Fische, der Widder, der Stier, die Zwillinge, der Krebs und der Löwe auf der nördlichen, die Jungfrau, die Wage, der Scorpion, der Schütze, der Steinbock und der Wassermann auf der südlichen Hemisphäre des Himmels.

Der Gürtel dieser zwölf von der Sonnenbahn durchschnittenen Sternbilder wird der Thierkreis oder der Zodiacus genannt.

Früher theilte man die Ekliptik zuerst in zwölf gleiche Theile und dann jeden derselben wieder in 30°, wodurch dann ebenfalls die 360° herauskommen. Diese zwölf Theile nennt man die Zeichen der Ekliptik. Diese Zeichen führen die Namen benachbarter Sternbilder des Thierkreises, und zwar heißen sie vom Frühlingspunkte an nach Osten gerechnet:

♈	♉	♊	♋	♌	♍
Widder,	Stier,	Zwillinge,	Krebs,	Löwe,	Jungfrau

auf der nördlichen Hemisphäre; die Zeichen der südlichen Halbkugel aber sind:

♎	♏	♐	♑	♒	♓
Wage,	Scorpion,	Schütze,	Steinbock,	Wassermann,	Fische.

Auf Tab. IV. ist der Anfangspunkt eines jeden dieser zwölf Zeichen durch die ihm entsprechende Figur angedeutet.

Das Zeichen des Widders entspricht also der Länge von 0 bis 30°, das Zeichen des Stiers von 30° bis 60°. Das Zeichen der Wage erstreckt sich vom 180. bis 210. Längengrade u. s. w.

Man sieht, daß die Zeichen der Ekliptik mit den gleichnamigen Sternbildern nicht zusammenfallen. Die Sonne befindet sich im Zeichen des Widders, während sie im Sternbilde der Fische steht; wenn sie in das Sternbild des Widders übergeht, so tritt sie in das Zeichen des Stiers u. s. w., kurz, jedes Zeichen der Ekliptik führt den Namen des nach Osten hin an dasselbe gränzenden Sternbildes. Wenn die Sonne sich im Zeichen des Krebses befindet, so steht sie im Sternbilde der Zwillinge.

Woher diese Verschiedenheit zwischen Zeichen und Sternbild rührt, das werden wir in einem späteren Capitel sehen.

Wahre und mittlere Sonnenzeit. Die Sonne schreitet auf der 26
Ekliptik in der Richtung von Westen nach Osten voran, also der täglichen Bewegung der Gestirne entgegen. Daher kommt es denn, daß, wie bereits in §. 3 angeführt wurde, der Sonnentag länger ist als der Sterntag; denn wenn heute die Sonne gleichzeitig mit einem bestimmten Sterne culminirt, so wird bis zu dem Momente, in welchem derselbe Stern morgen wieder culminirt, die Sonne etwas nach Osten hin fortgeschritten sein, also etwas später als der fragliche Stern in den Meridian treten.

Es ist nun leicht, das bereits auf S. 10 bereits angegebene Verhältniß zwischen Sternzeit und mittlerer Sonnenzeit zu berechnen. Die Zeit, welche die Sonne braucht, um, vom Frühlingspunkte ausgehend, wieder in demselben anzukommen,

die Zeit also, welche die Sonne braucht, um die ganze Ekliptik einmal zu durchlaufen, nennen wir das Jahr. Das Jahr hat (annähernd) 365 Tage; auf diese 365 Tage kommen aber 366 Sterntage, da ja die Sonne während dieser Zeit gerade einmal um den Himmel herumgegangen ist. Das Verhältniß des Sonnentages zum Sterntage ist also $\frac{366}{365} = 1,00274$, und daraus folgt, daß 1 Stunde Sonnenzeit gleich ist $1^h\ 0'\ 9,8''$ Sternzeit, wie bereits oben angegeben wurde.

Während nun ein Sterntag dem anderen vollkommen gleich ist, haben die Sonnentage keineswegs eine gleiche Dauer. Wenn alle Sonnentage gleich sein sollten, so müßte die Aenderung in der Rectascension der Sonne von einem Tage zum anderen das ganze Jahr hindurch vollkommen gleich bleiben. Das ist aber nicht der Fall, wie man aus der Tabelle auf Seite 63 leicht ersehen kann. Vom 12. bis zum 20. Juli z. B. ändert sich die gerade Aufsteigung der Sonne um 32,4 Minuten, während sie vom 19. bis zum 27. December um 35,5 Minuten zunimmt, woraus man entnehmen kann, daß die Zeit, welche von einer Culmination der Sonne bis zur folgenden vergeht, im December etwas größer ist als im Juli.

Zwei Ursachen wirken hier zusammen, um die erwähnte Ungleichheit der Sonnentage hervorzubringen. Diese Ursachen sind:

1) Daß die Ekliptik nicht mit dem Himmelsäquator parallel liegt. Wenn sich auch die Sonne in der Ekliptik mit stets gleicher Geschwindigkeit fortbewegte, so würde doch einem und demselben Wegstücke zur Zeit der Aequinoctien, wo die Sonnenbahn einen bedeutenden Winkel mit dem Aequator bildet, eine geringere Aenderung in der Rectascension entsprechen, als zur Zeit der Solstitien, wo die Sonne fast parallel mit dem Aequator fortschreitet (siehe die Sternkarte Tab. IV.).

2) Daß die Sonne sich auch nicht in der Ekliptik mit gleichförmiger Geschwindigkeit bewegt, sondern zur Zeit unseres Winters schneller fortschreitet als während unseres Sommers. Um sich davon zu überzeugen, messe man z. B. auf der Sternkarte Tab. IV. den Weg, den die Sonne vom 2. bis zum 26. Juni zurücklegt, und man wird finden, daß er merklich kleiner ist als das Bahnstück vom 1. bis 25. Januar.

Dasselbe ersieht man auch aus der Tabelle auf Seite 66. Vom 4. bis 12. Juli wächst die Länge der Sonne nur um $7^0\ 37,7'$, während sie vom 1. bis 9. Januar um $8^0\ 9,1'$ zunimmt. Am schnellsten wächst die Länge der Sonne am 1. Januar, wo der in 24 Stunden beschriebene Bogen der Ekliptik $1^0\ 1'\ 10,1''$ beträgt, während zur Zeit des langsamsten Fortschreitens, am 1. Juni, der in 24 Stunden von der Sonne beschriebene Bogen nur $57'\ 11,8''$ beträgt.

Eine Folge davon, daß die Sonne in ihrer Bahn mit ungleicher Geschwindigkeit fortschreitet, ist auch die, daß sie eine längere Zeit braucht, um die nördliche Hälfte der Ekliptik zu durchlaufen, als sie braucht, um vom Herbstpunkte aus zum Frühlingspunkte zurückzukehren. Vom 21. März bis zum 22. September sind 186 Tage, vom 22. September bis zum 21. März sind ihrer nur

179, die Sonne verweilt also auf der nördlichen Halbkugel des Himmels volle 7 Tage länger als auf der südlichen.

Was die Ursache dieser Ungleichheiten ist, werden wir später untersuchen. Hier haben wir es zunächst nur mit der ungleichen Dauer der Sonnentage zu thun.

Es ist klar, daß sich im bürgerlichen Leben alle Zeiteintheilung nach der Sonne richten muß, weil die Abwechselung von Tag und Nacht maßgebend ist für die Eintheilung aller Beschäftigungen des bürgerlichen Lebens, wie ja auch im Thier- und Pflanzenleben die Abwechselung von Tag und Nacht eine bedeutende Rolle spielt.

So lange man noch mit mechanischen Uhren von geringer Genauigkeit zu thun hatte, war kein Anstand, da sie doch öfters gerichtet werden mußten, diese Uhren alle paar Tage nach der Sonne zu stellen; ob man sie einmal etwas schneller, dann wieder langsamer mußte laufen lassen, ob man sie etwas mehr oder weniger verstellte, das war gleichgültig. Astronomische Uhren aber, wie überhaupt gute Uhren, bei welchen ein möglichst gleichförmiger Gang die erste Bedingung ist, können unmöglich nach wahrer Sonnenzeit gerichtet werden.

Um aber doch den Sonnentag der Hauptsache nach als Zeiteinheit beizubehalten, und dennoch ein gleichförmiges Zeitmaß zu haben, hat man statt des wahren veränderlichen, einen mittleren Sonnentag von stets gleichbleibender Länge eingeführt. Denkt man sich die Dauer eines gewöhnlichen Jahres von 365 Tagen in 365 vollkommen gleiche Theile getheilt, so ist ein solcher Theil der mittlere Sonnentag.

Eine schärfere Definition des mittleren Sonnentages ist folgende. Denkt man sich eine Sonne, welche mit vollkommen gleichförmiger Geschwindigkeit den Himmelsäquator in derselben Zeit durchläuft, welche die wahre Sonne braucht, um die Ekliptik zu durchlaufen, so ist die Zeit von einer Culmination dieser eingebildeten Sonne bis zur nächsten der mittlere Sonnentag.

Die wahren Sonnentage sind nun bald etwas länger, bald etwas kürzer, als der mittlere, der wahre Mittag ist also vor dem mittleren bald etwas voraus, bald bleibt er etwas gegen denselben zurück. Der Zeitunterschied zwischen dem mittleren und wahren Mittag wird die Zeitgleichung genannt.

Der numerische Werth der Zeitgleichung für die einzelnen Tage des Jahres hängt davon ab, für welchen Moment man annimmt, daß die fingirte Sonne gleiche Rectascension mit der wahren habe. Man hat für diesen Moment die Zeit angenommen, in welcher die Rectascension der wahren Sonne am schnellsten wächst (24. December), und so ergeben sich denn von 8 zu 8 Tagen folgende Werthe der Zeitgleichung:

Monatstag.	M. Z. — W. Z.		Monatstag.	M. Z. — W. Z.	
1. Januar.	+ 3′	43″	4. Juli.	+ 3′	57″
9. »	+ 7	17	12. »	+ 5	12
17. »	+ 10	18	20. »	+ 6	0
25. »	+ 12	34	28. »	+ 6	12
2. Februar.	+ 13	59	5. August.	+ 5	46
10. »	+ 14	31	13. »	+ 4	42
18. »	+ 14	14	21. »	+ 3	4
26. »	+ 13	13	28. »	+ 1	12
6. März.	+ 11	34	6. September.	— 1	37
14. »	+ 9	30	14. »	— 4	21
22. »	+ 7	9	22. »	— 7	10
30. »	+ 4	41	30. »	— 9	53
7. April.	+ 2	17	8. October.	— 12	18
15. »	+ 0	7	16. »	— 14	16
23. »	— 1	40	24. »	— 15	39
1. Mai.	— 2	59	1. November.	— 16	16
9. »	— 3	44	9. »	— 16	3
17. »	— 3	52	17. »	— 14	56
25. »	— 3	24	25. »	— 12	56
2. Juni.	— 2	26	3. December.	— 10	8
10. »	— 1	1	11. »	— 6	41
18. »	+ 0	39	19. »	— 2	49
26. »	+ 2	22	27. »	+ 1	9

Das Zeichen + zeigt an, daß der mittlere Mittag früher, das Zeichen —, daß er später ist als der wahre.

Den größten negativen Werth hat die Zeitgleichung am 3. November, wo sie gleich — 16′ 18,5 Secunden ist; den größten positiven Werth, + 14′ 31,3″ hat sie am 11. Februar. In der Mitte des Februar ist also der mittlere Mittag fast $1/4$ Stunde früher, zu Anfang des November etwas mehr als $1/4$ Stunde später als die Culmination der Sonne.

Ein Uebergang aus dem positiven ins negative Zeichen findet Statt am 15. April und 1. September, ein Uebergang aus dem negativen ins positive aber am 15. Juni und am 24. December.

Man bedient sich jetzt auch im bürgerlichen Leben allgemein der mittleren Sonnenzeit, die man aber mit Hülfe der Zeitgleichung jederzeit leicht aus Sonnenbeobachtungen ableiten kann.

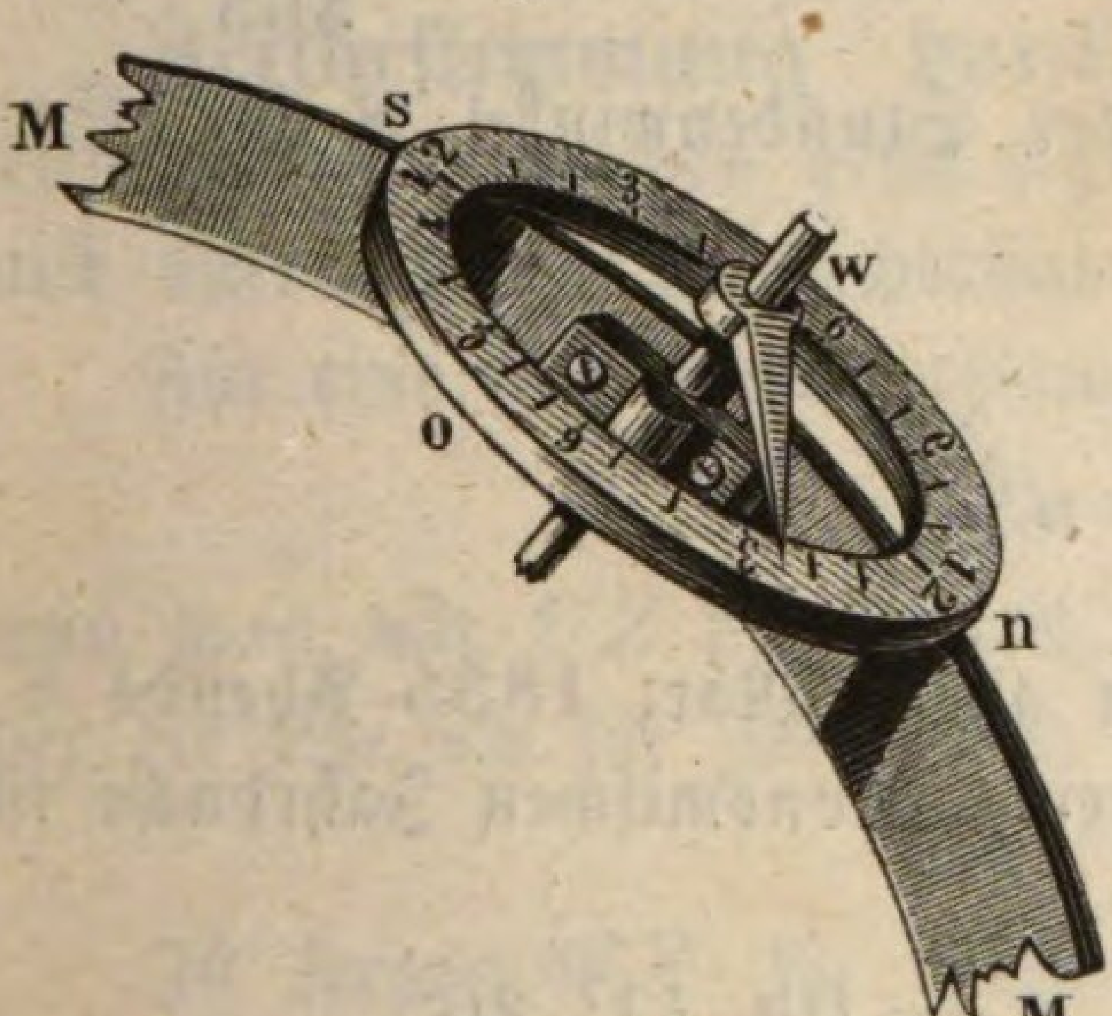
27 **Anblick des Himmels in den Nachtstunden verschiedener Monate.** Jetzt, da wir die Wanderung der Sonne durch die Sternbilder des

Thierkreises kennen gelernt haben, ergiebt es sich von selbst, warum man zu derselben Stunde der Nacht in verschiedenen Monaten nicht dieselben Sternbilder an derselben Stelle des Himmels erblickt, wie dies bereits besprochen wurde. Welche Sterne in einer gegebenen Stunde eines gegebenen Tages culminiren, ist aber leicht zu ermitteln, wenn man die Rectascension der Sonne für diesen Tag kennt. Man hat nämlich nur vom Stundenkreise, welchem für diesen Tag die Sonne angehört, auf dem Aequator so viele Stunden weiter nach Osten zu zählen, als seit der Culmination der Sonne verflossen sind. Es wird z. B. gefragt, welche Sterne culminiren am 24. October Abends 6 Uhr? Am 24. October ist die Rectascension der Sonne $13^h\ 53'$. Um 6 Uhr Abends sind 6 Stunden vergangen, seit die Sonne durch den Meridian ging, es culminiren also um diese Zeit diejenigen Sterne, deren gerade Aufsteigung $13^h\ 53' + 6^h = 20^h\ 53'$ ist. Das Sternbild des Delphins und α cygni haben also ungefähr vor 20 Minuten den Meridian passirt, da ihre Rectascension $20^h\ 32'$ ist.

Welches der Anblick des Himmels zu einer gegebenen Zeit ist, läßt sich am leichtesten mit Hülfe eines Himmelsglobus übersehen, wenn derselbe mit einem sogenannten Stundenringe versehen ist. In Fig. 30, Seite 43, ist der Stundenring des kleinen Maßstabes wegen ganz weggelassen, die Einrichtung desselben ist aber aus Fig. 43 zu ersehen.

Der Stundenring *swno* ist auf dem messingenen Meridianring *MM* befestigt und in 24 gleiche Theile getheilt, welche den einzelnen Stunden entsprechen. Die Theilstriche bei *s* und *n* sind mit 12 bezeichnet und dann die Stunden von *s* über *w* bis *n* und von *n* über *o* bis *s* gezählt.

Fig. 43.



Die Axe, um welche sich der ganze Globus dreht, befindet sich im Mittelpunkte dieses Stundenringes und trägt einen Zeiger, welcher auf derselben feststeckt, aber sich mit einiger Reibung um denselben drehen läßt.

Um den Globus nun einer gegebenen Zeit entsprechend zu stellen, dreht man ihn zunächst so, daß der Ort des Himmels, an welchem die Sonne eben steht, gerade unter den Meridianring *M* zu stehen kommt, stellt dann den Zeiger auf 12 Uhr Mittags (der mit 12 bezeichnete Theilstrich bei *s*) und dreht nun den ganzen Globus sammt dem Zeiger so weit, bis letzterer die fragliche Stunde zeigt.

Soll z. B. der Globus so gestellt werden, wie es dem 17. Mai Abends 10 Uhr entspricht, so stellt man den Globus so, daß der auf dem Aequator mit $3^h\ 35'$ bezeichnete Punkt (Rectascension der Sonne am genannten Tage nach der Tabelle auf S. 63), also der Punkt des Aequators, welcher $53{,}7^0$ östlich vom Frühlingspunkte liegt, gerade im Meridian steht, daß also die Plejaden culminiren, und dreht dann die Kugel sammt Zeiger um 10 Stunden, die man auf dem Stundenringe abliest, nach Westen. Man sieht dann, daß das Sternbild

der Jungfrau im Süden culminirt (Spica steht fast im Meridian), und daß die Sternbilder Cassiopeia und Andromeda den Meridian in unterer Culmination passiren; der große Löwe steht am südwestlichen, Leyer und Schwan am nordöstlichen Himmel.

28 **Bestimmung des Stundenwinkels eines Sternes für einen gegebenen Augenblick.** In vielen Fällen ist es wichtig, aus den Angaben der astronomischen Jahrbücher für jeden gegebenen Zeitpunkt den Stundenwinkel eines Sternes, d. h. den Winkel berechnen zu können, welchen der Declinationskreis des Sternes mit dem Meridian macht.

Es sei nun

a die Rectascension der Sonne zur Zeit ihrer Culmination an einem gegebenen Tage;
b die Rectascension eines gegebenen Sternes;
c die Zeitgleichung für den gegebenen Tag, so ist:
$a-b$ der Winkel, um welchen der Declinationskreis des Sternes im Moment der Sonnenculmination, und
$a-b-c$ der Winkel, um welchen derselbe zur Zeit des mittleren Mittags westlich vom Meridian liegt.

Um n Uhr, d. h. n Stunden mittlerer Sonnenzeit, oder $n\frac{366}{365}$ Stunden Sternzeit nach dem mittleren Mittag, ist der Stundenwinkel S des Sternes noch um $n\frac{366}{365}$ Stunden größer, also

$$S = a-b-c+n\frac{366}{365}.$$

Man fragt z. B., welches ist zu Berlin am 7. März 1855 Abends 8 Uhr der Stundenwinkel von α leonis? Nach dem astronomischen Jahrbuche ist für diesen Fall

$$b = 10^h\ 0'\ 39'' \qquad c = 0^h\ 11'\ 20''$$
$$a = 23^h\ 9'\ 46'' \qquad n = 8^h$$

und danach ergiebt sich

$$S = 20^h\ 59'\ 6'',$$

d. h. in dem fraglichen Moment steht zu Berlin α leonis $20^h\ 59'\ 6''$ westlich, oder, was dasselbe ist, $3^h\ 0'\ 54''$, (in Bogentheilen ausgedrückt, $45^0\ 13'\ 30''$) östlich vom Meridian.

Wollte man also zu Berlin am 7. März 1855 das Fernrohr eines Aequatorialinstrumentes so richten, daß Abends 8 Uhr α leonis im Gesichtsfelde erscheint, so hätte man den Aequatorial- oder Stundenkreis auf $314^0\ 46{,}5'$ zu stellen, vorausgesetzt, daß der Index dieses Kreises auf 0 zeigt, wenn das Fernrohr sich in der Ebene des Meridians befindet, und die Theilung vom Meridian nach Westen gezählt wird. Den Declinationskreis des Instrumentes aber hätte

man auf 12° 40′ 26″ zu stellen, weil dies die nördliche Abweichung α leonis ist.

Die Berliner Ephemeriden geben die Rectascension der Sonne für den Moment, in welchem dieses Gestirn zu Berlin culminirt. An westlicher gelegenen Orten findet aber die Sonnenculmination später Statt; folglich muß für solche westlicher gelegene Orte die Rectascension der Sonne im Moment des wahren Mittags größer sein, als ihn die Berliner Ephemeriden angeben. Wollte man also für irgend einen westlich von Berlin gelegenen Ort den Stundenwinkel eines Sternes für einen gegebenen Zeitpunkt berechnen, so dürfte man in den obigen Werth von S nicht den Werth von a setzen, wie ihn die Berliner Ephemeriden angeben, sondern man müßte an diesem Werthe noch eine Correction anbringen, welche von der geographischen Länge des Ortes abhängt.

In 24 Stunden nimmt die Rectascension der Sonne im Durchschnitt um 0,986°, in einer Stunde also um $\frac{0{,}986^{0}}{24}$ zu. Für jeden Ort, dessen wahrer Mittag eine Stunde später ist als zu Berlin, wird demnach die Rectascension der Sonne zur Zeit des wahren Mittags $\frac{0{,}986}{24}$ Grad größer sein, als es die Berliner Ephemeriden angeben. Für 1 Längengrad beträgt dieser Unterschied der Rectascension 9,86 Bogensecunden oder 0,657 Zeitsecunden.

Zeitbestimmung durch Culminationsbeobachtungen. Eine 29
Zeitbestimmung machen heißt eigentlich nichts weiter, als den Gang einer Uhr durch astronomische Beobachtungen zu controliren.

Für eine Uhr, welche genau nach mittlerer Sonnenzeit geht, haben wir

$$UZ - MZ = 0,$$

wenn man mit UZ die Uhrzeit, mit MZ die mittlere Zeit bezeichnet. Geht aber die Uhr um die Zeit t vor, so ist

$$UZ - MZ = t.$$

Ist ferner WZ die wahre Sonnenzeit und c die Zeitgleichung, also $MZ = WZ + c$, so haben wir

$$UZ - WZ - c = t \quad \text{. . . . . (1)}$$

Für den Moment der Sonnenculmination ist $WZ = 0$, also

$$UZ - c = t \quad \text{. . . . . (2)}$$

Nach dieser Gleichung ergiebt sich leicht, wie viel eine Uhr, die nach mittlerer Zeit gehen sollte, vorgeht, wenn man beobachtet, welches die Uhrzeit für den Augenblick ist, in welchem der Mittelpunkt der Sonne den Meridian passirt.

Hat man z. B. eine Sonnenculmination am 9. November beobachtet und gefunden, daß sie stattfand, als die Uhr 11ʰ 46′ 22″ Vormittags zeigte, so ist $UZ = -$ (13′ 38″), weil man offenbar die Zeit vom Mittag rückwärts negativ zählen muß. Für den 9. November ist $c = -$ (16′ 3″) (Tab. S. 70), also

$$UZ - c = -(13' \, 38'') + (16' \, 3'') = 2' \, 25'';$$

die Uhr geht also 2′ 25″ vor.

Ein negativer Werth von t bezeichnet natürlich ein Nachgehen der Uhr. Hätte z. B. eine Uhr zur Zeit des wahren Mittags am 10. Februar $12^h\ 6'\ 3''$ gezeigt, so ist $UZ = 6'\ 3''$; für den 10. Februar ist $c = 14'\ 31''$, es ergiebt sich also für diesen Fall

$$UZ - c = 6'\ 3'' - (14'\ 31'') = -(8'\ 28'');$$

die Uhr geht also $8'\ 28''$ nach.

Die Culmination der Sonne kann man entweder an einem Gnomon oder genauer an einem im Meridian aufgestellten Fernrohre beobachten.

Die Sonne erlaubt keine so scharfe Beobachtung der Culminationszeit wie ein Stern, deshalb ist für eine genaue Zeitbestimmung die Sternbeobachtung der Sonnenbeobachtung vorzuziehen, nur ist die Berechnung für die Sternbeobachtung etwas umständlicher.

Auch für den Fall, daß man eine Zeitbestimmung mittelst einer Sternculmination machen will, benutzt man die Gleichung (1). UZ ist in diesem Falle die Zeit, welche die Uhr im Moment der Culmination des beobachteten Sternes zeigt, WZ ist der nach mittlerer Zeit gemessene Zeitraum, welcher zwischen der Culmination der Sonne und der Culmination des Sternes liegt.

Haben b und a dieselbe Bedeutung wie auf S. 72, so ist $(b-a)$ der Stundenwinkel, um welchen der Stern im Moment des wahren Mittags noch östlich vom Meridian absteht. $b-a$ Sternstunden oder $(b-a)\frac{365}{366}$ mittlere Sonnenstunden nach dem wahren Mittag wird also der Stern culminiren, oder mit anderen Worten, zur Zeit der Sternculmination ist $WZ = (b-a)\frac{365}{366}$, also

$$UZ - (b-a)\frac{365}{366} - c = t \quad \ldots\ldots \quad (3)$$

Beobachtet man z. B., daß am 23. April 1855 die Uhr $4^h\ 40'\ 10''$ in dem Augenblicke zeigt, in welchem Sirius culminirt, so hat man

$$\begin{aligned} UZ &= 4^h\ 40'\ 10'', \\ a &= 2\quad 2\quad 0 \quad \text{(Tabelle auf S. 63)}, \\ b &= 6\quad 38\quad 45 \quad \text{(S. 29)}, \\ c &= -\quad 1\quad 40 \quad \text{(S. 70)}, \end{aligned}$$

und es ergiebt sich

$$t = 5'\ 53'';$$

die Uhr geht also $5'\ 53''$ vor.

30 **Zeitbestimmung durch correspondirende Höhen.** Die im vorigen Paragraphen besprochene Methode der Zeitbestimmung ist nur anwendbar, wenn der Meridian des Beobachtungsortes bestimmt ist.

Durch die Beobachtung correspondirender Höhen vor und nach der Culmination kann man aber die Uhrzeit der Culmination eines Gestirnes auch ermitteln, ohne daß der Meridian bestimmt ist.

Beobachtet man, daß ein Stern, auf der Ostseite des Himmels aufsteigend, die Höhe h in dem Augenblicke erreicht, in welchem die Uhr die Zeit T zeigt,

daß er, auf der Westseite des Himmels niedergehend, dieselbe Höhe h wieder zur Uhrzeit T' passirt, so ist offenbar die Uhrzeit seiner Culmination das Mittel zwischen den beiden beobachteten Zeiten, also $\frac{T+T'}{2}$.

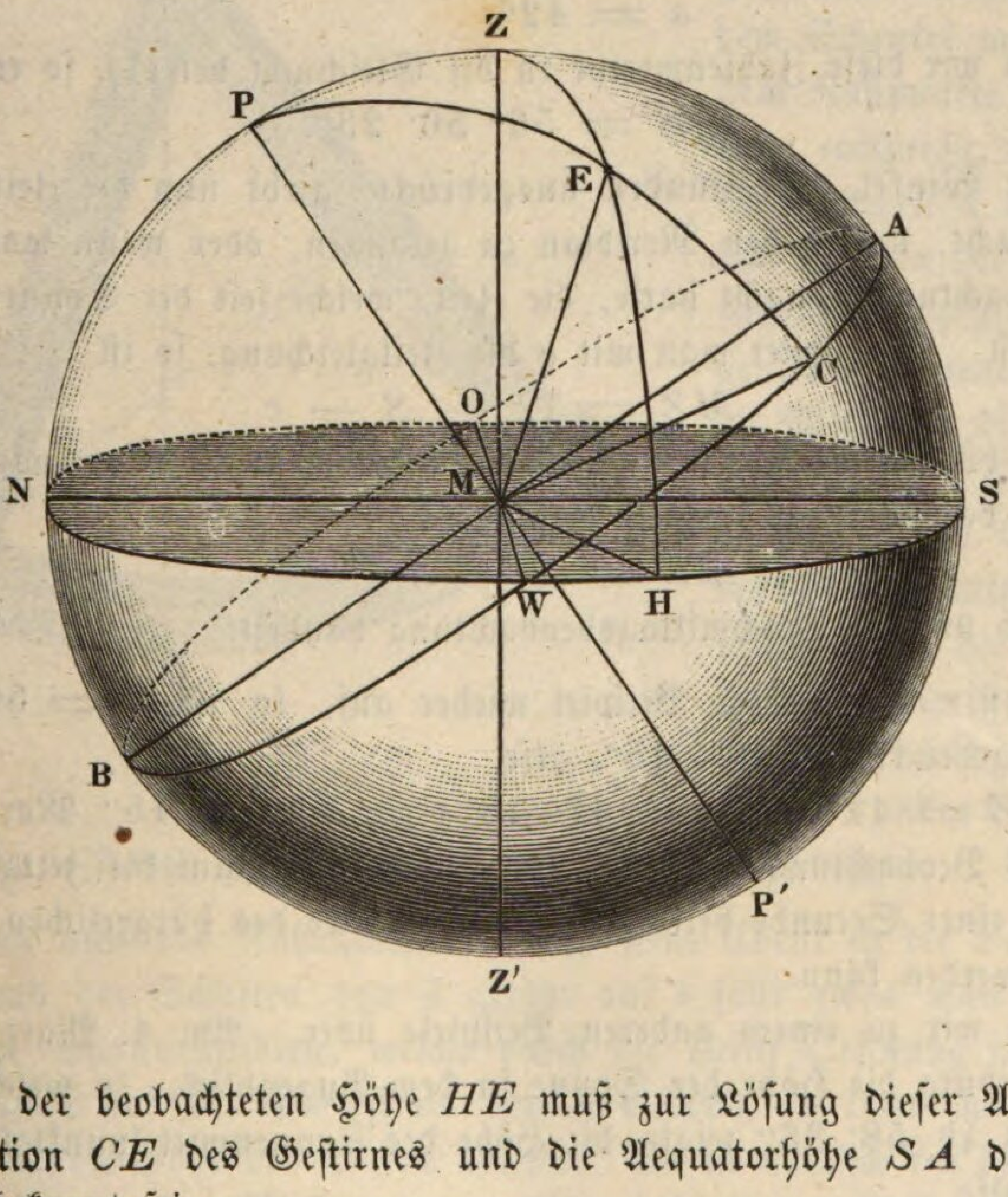
Hätte z. B. ein Stern die Höhe von 32° 17′ im Aufsteigen um 6^h 18′ 42″ Uhrzeit, im Niedergehen aber zur Uhrzeit 10^h 33′ 20″ passirt, so wäre die Uhrzeit der Culmination dieses Sternes 8^h 26′ 1″.

Wenn man diese Beobachtungsmethode anwenden will, um die Uhrzeit einer Sonnenculmination zu ermitteln, so muß man die Veränderung der Declination der Sonne, welche zwischen den beiden Beobachtungen stattfindet, in Rechnung bringen.

Zeitbestimmung durch einfache Sonnenhöhen. Da ein jedes Gestirn in Folge seiner täglichen Bewegung seine Höhe stets ändert, und da es eine gewisse Höhe immer zu einer bestimmten Zeit passirt, so muß auch eine einzige Höhenmessung hinreichen, um eine Zeitbestimmung zu machen. 31

Zunächst kommt es darauf an, aus der beobachteten Höhe eines Gestirnes seinen Stundenwinkel S, d. h. den Winkel zu berechnen, welchen der Declinationskreis PC, Fig. 44, des Gestirnes E mit dem Meridian PZA macht.

Fig. 44.



Außer der beobachteten Höhe HE muß zur Lösung dieser Aufgabe noch die Declination CE des Gestirnes und die Aequatorhöhe SA des Beobachtungsortes bekannt sein.

Der gesuchte Stundenwinkel CA, den wir mit S bezeichnen wollen, ist der Winkel, den die Ebenen PCM und PAM mit einander machen. Dieser Winkel ist aber offenbar auch ein Winkel des sphärischen Dreiecks PZE und zwar derjenige, welchen die Seiten PZ und PE dieses Dreiecks mit einander machen. In diesem Dreieck sind aber alle drei Seiten bekannt; es ist nämlich

$PZ = SA$, gleich der Aequatorhöhe des Ortes, die wir mit a bezeichnen wollen;

$PE = p$, die Poldistanz des beobachteten Gestirnes E, sie ist offenbar $= 90^0 - CE$, gleich 90^0 weniger der bekannten Declination des Gestirnes;

$ZE = z$, die Zenithdistanz des Gestirnes, welche $90^0 - HE$, d. h. 90^0 weniger der beobachteten Höhe ist.

Daraus ergiebt sich nun (Sphärische Trigonometrie, Seite 12, Gleichung 12):

$$\left(sin.\ {}^1/_2\ S\right)^2 = \frac{sin.\ {}^1/_2\ (z + a - p)\ sin.\ {}^1/_2\ (z + p - a)}{sin.\ a\ .\ sin.\ p} \quad . \quad . \quad . \ (1)$$

Nehmen wir z. B. an, man habe zu Freiburg am 15. Juni Vormittags die Sonnenhöhe 39^0 beobachtet, so haben wir

$$z = 90 - 39 = 51^0$$

$$p = 90 - (23^0\ 18'\ 41'') = 66^0\ 41'\ 19'',$$

da am 15. Juni die Declination der Sonne $23^0\ 18'\ 41''$ ist, und

$$a = 42^0.$$

Setzen wir diese Zahlenwerthe in die Gleichung bei (1), so ergiebt sich

$$S = 56^0\ 56'\ 23''.$$

Dieser Winkel, in Stunden ausgedrückt, giebt nun die Zeit, welche die Sonne braucht, um in den Meridian zu gelangen, oder wenn man eine Nachmittagsbeobachtung gemacht hatte, die Zeit, welche seit der Sonnenculmination verstrichen ist. Bezeichnet man mit c die Zeitgleichung, so ist

$$MZ = 12 - S - c$$

die mittlere bürgerliche Zeit des Beobachtungsmomentes, wenn man die Höhenbestimmung des Morgens gemacht hat, und

$$MZ = S + c,$$

wenn es sich um eine Nachmittagsbeobachtung handelt.

Nehmen wir das obige Beispiel wieder auf, so ist $S = 56^0\ 56'\ 23''$, in Zeit ausgedrückt, $3^h\ 47'\ 45''$, also

$$MZ = 12^h - (3^h\ 47'\ 45'') = 8^h\ 12'\ 15'' \text{ Morgens}$$

die Zeit des Beobachtungsmomentes, da für den 15. Juni die Zeitgleichung nur Bruchtheile einer Secunde beträgt, also für Zwecke des bürgerlichen Lebens vernachlässigt werden kann.

Gehen wir zu einem anderen Beispiele über. Am 4. März 1855 fand man zu Freiburg die Höhe der Sonne in dem Augenblicke, in welchem die Uhr Nachmittags $1^h\ 58'\ 36''$ zeigte, die Höhe des Sonnenmittelpunktes gleich 30^0; wir haben also

$$z = 90^0 - 30^0 = 60^0,$$
$$p = 90^0 + (6^0\ 32'\ 55'') = 96^0\ 32'\ 55'',$$

da am genannten Tage die Declination der Sonne — $(6^0\ 32'\ 55'')$ beträgt, und

$$a = 42^0.$$

Aus diesen Daten ergiebt sich

$$S = 28^0\ 26' = 1^h\ 52'.$$

Da nun für den fraglichen Tag $c = 12'\ 2''$, so ist die mittlere Zeit des Beobachtungsmomentes

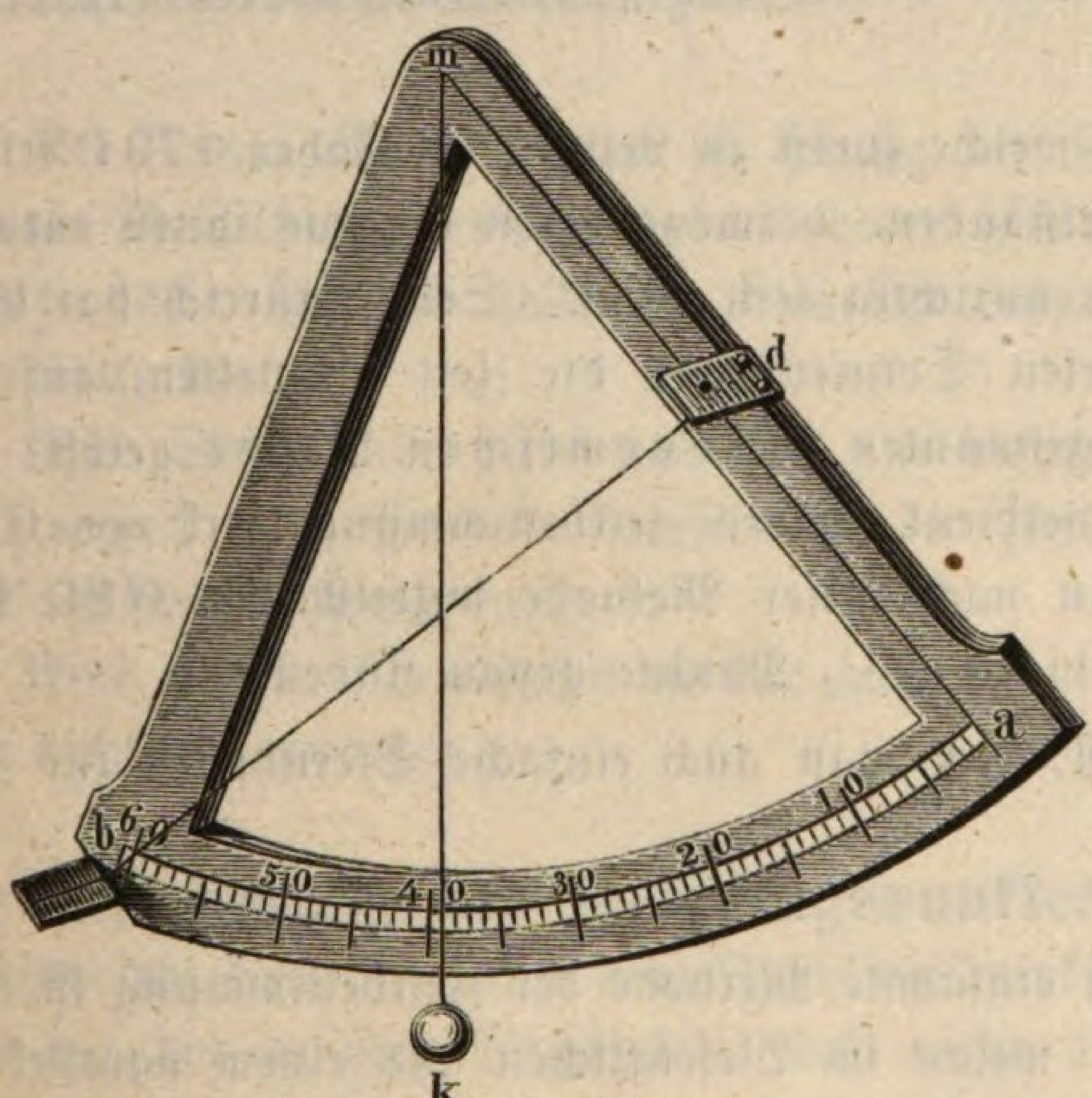
$$MZ = 2^h\ 4'\ 2''.$$

Da aber die Uhr $1^h\ 58'\ 36''$ zeigte, so ergiebt sich, daß diese Uhr um $5'\ 26''$ nachging.

Um Sonnenhöhen so genau zu messen, als es zur Bestimmung der Zeit für das bürgerliche Leben erforderlich ist, genügen einfachere Instrumente als die, welche wir früher kennen lernten; gewöhnlich wendet man in diesem Falle den Sextanten an.

Fig. 45 zeigt einen Sextanten der einfachsten Art. Er besteht im Wesentlichen aus einem getheilten Sechstelskreis (daher der Name), welcher mit zwei Radien ein Dreieck bildet.

Fig. 45.



m ist der Mittelpunkt des getheilten Bogens. An dem Schenkel ma, welcher dem Nullpunkte der Theilung entspricht, ist ein Messingblättchen d so befestigt, daß ein von der gegenüberstehenden Spitze b auf ma gefälltes Perpendikel gerade die Mittellinie dieses Blättchens trifft. Parallel mit diesem ist bei b ein zweites Messingblättchen d angebracht. In der Mitte des Blättchens b ist eine Linie eingeritzt, während d ein kleines rundes Loch enthält. Von m hängt ein Faden herab, welcher eine Bleikugel k trägt.

Hält man nun das Instrument so, daß seine Ebene in die Verticalebene der Sonne und der Schatten von d gerade auf b fällt (was man daran erkennt, daß die Sonnenstrahlen, welche durch die kleine Oeffnung in d fallen, einen hellen Fleck auf der Mittellinie von b bilden), so kann man auf dem getheilten Kreise die Höhe der Sonne ablesen. Es ist nämlich bd die Richtung der Sonnenstrahlen. Der Winkel aber, welchen bd mit der Horizontalen macht,

ist gleich dem Winkel *amk*, da *am* auf *bd* und *mk* auf der Horizontalen rechtwinklig steht; der Bogen von *a* bis zum Bleiloth mißt also die Sonnenhöhe.

Da es schwierig ist, den Sextanten in freier Hand sicher genug zu halten, so wird er in der Regel mit einem passenden Stativ versehen, welches eine feste Aufstellung erlaubt.

Solche Sextanten von 6 bis 8 Zoll Radius sind in der Regel von Holz mit aufgeklebter Papierscala.

Eine sehr zweckmäßige Einrichtung hat neuerdings Eble dem Sextanten gegeben. Bei einem Halbmesser von 13 Zoll ist der Bogen unmittelbar in $1/_{12}$ Grade eingetheilt.

Die gemessenen Sonnenhöhen bedürfen noch, bevor man sie in die Rechnung einführen kann, einer Correction wegen der atmosphärischen Strahlenbrechung, welche wir erst im zweiten Buche werden kennen lernen. Die Theilung des Eble'schen Sextanten ist so eingerichtet, daß man unmittelbar die corrigirte Höhe ablesen kann.

Aus den beobachteten Sonnenhöhen den Stundenwinkel zu berechnen, ist immerhin eine etwas langwierige und für Manchen auch schwierige Arbeit. Deshalb hat bereits gegen Ende des vorigen Jahrhunderts Fr. Chr. Müller Tafeln berechnet, in welchen man für Orte vom 47. bis 54. Breitengrade für die von Grad zu Grad fortschreitenden Sonnenhöhen die entsprechende Zeit aufschlagen kann.

Müller's Sonnentafeln, welche zuerst zu Leipzig im Jahre 1791 erschienen, leiden an mehrfachen Uebelständen, vermöge deren die aus ihnen entnommene Zeit bis auf 10 Minuten unrichtig sein kann. Sehr sinnreich hat Eble die Aufgabe, aus den beobachteten Sonnenhöhen die Zeit abzuleiten, auf graphischem Wege mittelst eines sogenannten astronomischen Netzes gelöst, welches sehr empfohlen zu werden verdient (Neues Zeitbestimmungswerk von Eble, Ellwangen 1853). Man kann nach dieser Methode mittelst des Eble'schen Sextanten und Netzes die Zeit bis auf $1/_2$ Minute genau finden.

Es versteht sich von selbst, daß man auch einfache Sternhöhen zur Zeitbestimmung anwenden kann.

32 **Die Sonnenuhr.** Die einfachste Methode der Zeitbestimmung ist wohl die mittelst der Sonnenuhr, welche im Wesentlichen aus einem parallel mit der Weltaxe befestigten Stabe und aus einer Fläche besteht, welche bei Sonnenschein den Schatten jenes Stabes auffängt. Der Stab bildet die Axe, um welche sich die Schattenebene mit derselben Geschwindigkeit umdreht, mit welcher die Sonne am Himmel fortschreitet, d. h. sie dreht sich in jeder Stunde um 15 Grad. Zu gleichen Tageszeiten, d. h. gleich viel Stunden vor oder gleich viel Stunden nach der Culmination der Sonne, wird also die Schattenebene stets dieselbe Lage haben, und aus der Lage der Schattenebene, also auch aus der Lage des Stabschattens auf einer gegen den Stab unveränderlich festen Ebene kann man auf die Zeit schließen.

Die Ebene, welche den Schatten auffängt, ist gewöhnlich eine verticale Wand oder eine horizontale Platte, auf welcher die Linien gezogen sind, auf welche der Stabschatten 1, 2, 3 u. s. w. Stunden vor, und 1, 2, 3 u. s. w. Stunden nach dem wahren Mittag fallen muß.

Fig. 46 stellt eine Sonnenuhr mit verticaler schattenauffangender Wand (mit verticalem Zifferblatte) dar.

Fig. 46.

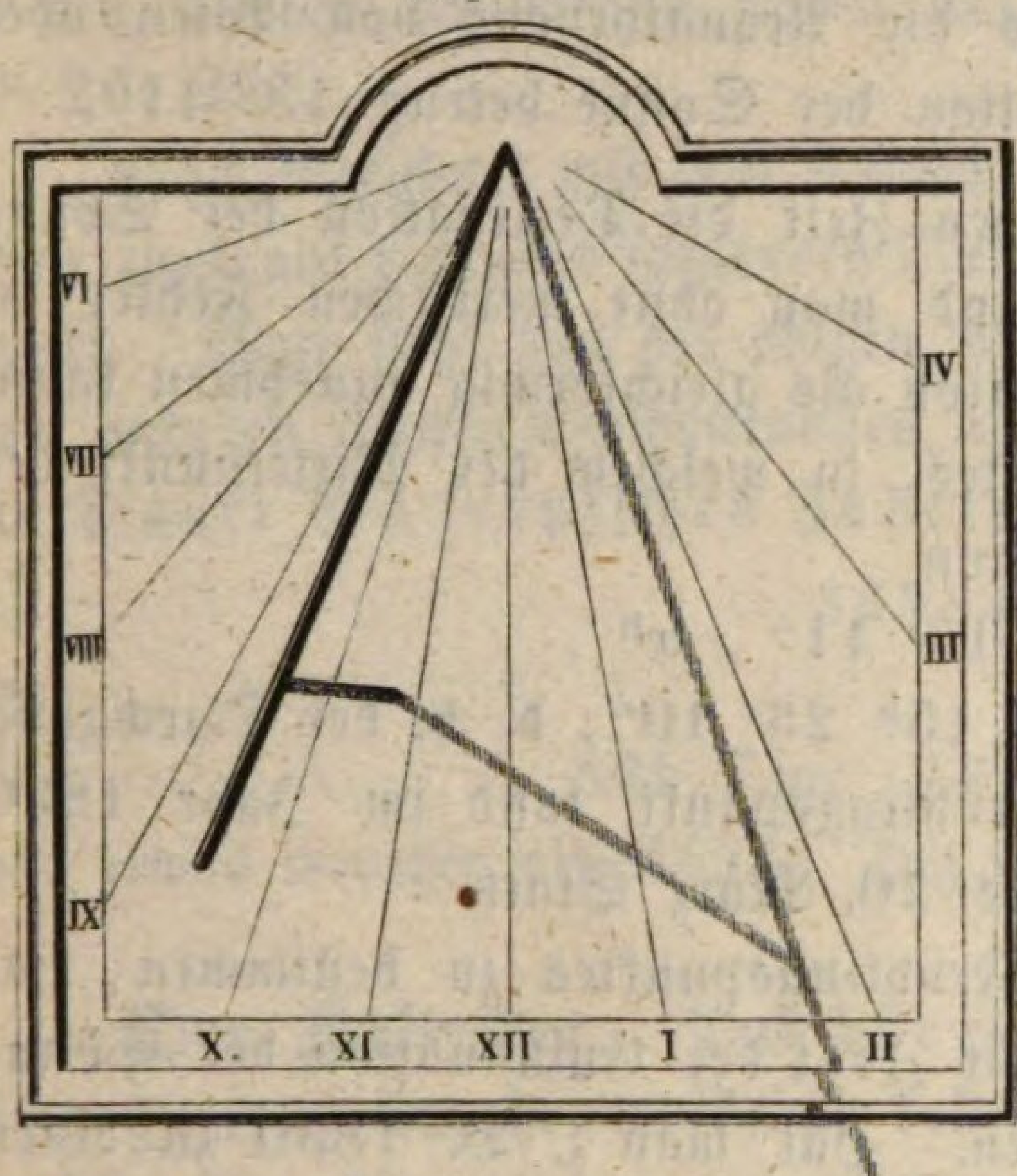
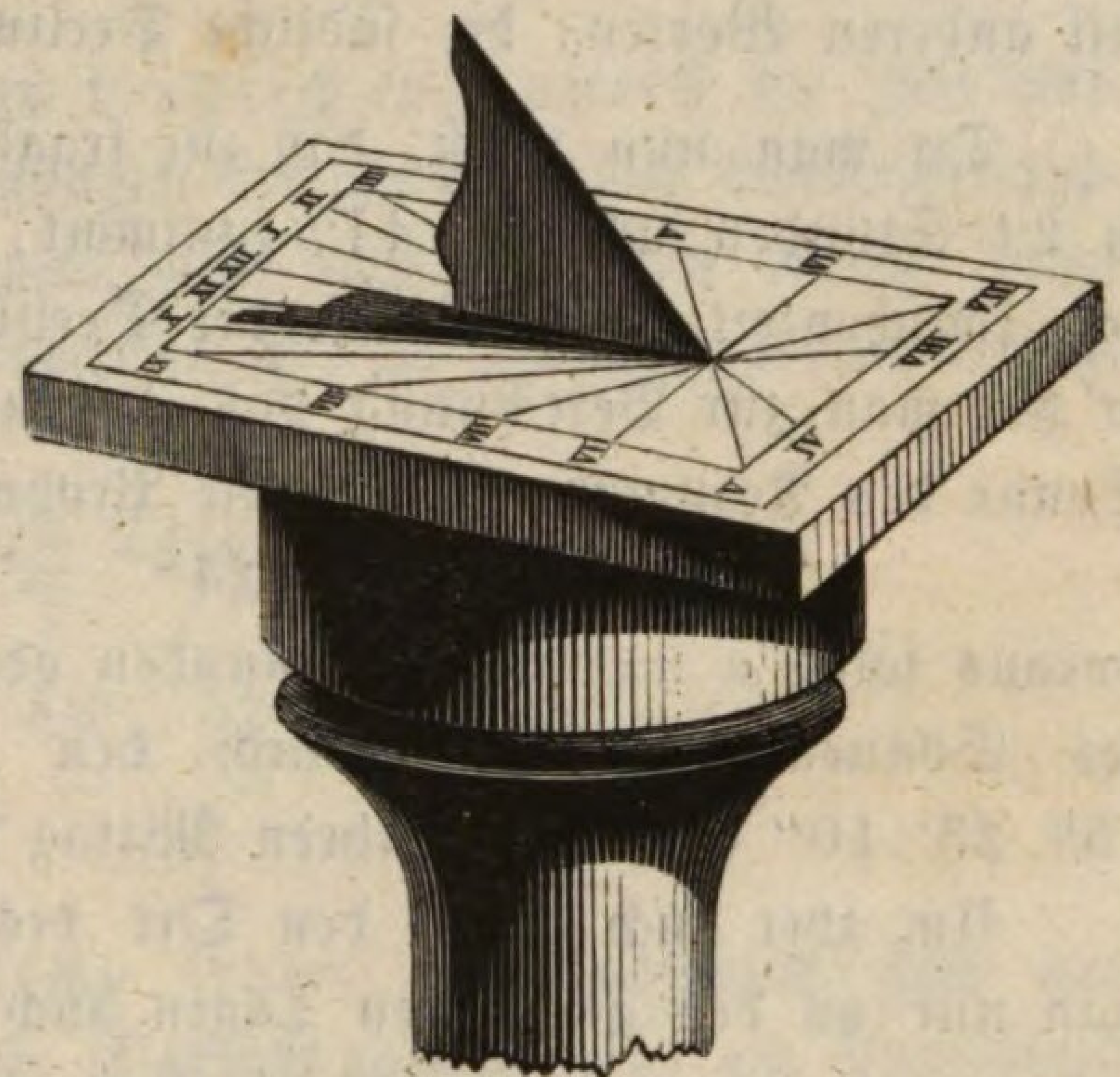


Fig. 47.



Bei kleinen Sonnenuhren ist häufig der schattengebende Stab durch eine verticale Metallplatte ersetzt, deren oberer geradliniger Rand die Richtung der Weltaxe hat. Fig. 47 stellt eine derartige kleine Sonnenuhr mit horizontalem Zifferblatte dar.

Eine Sonnenuhr giebt natürlich nur wahre Sonnenzeit; um nach ihr die mittlere Zeit zu bestimmen, muß man die Zeitgleichung nach der Tabelle auf Seite 70 in Rechnung bringen.

Eine große Genauigkeit ist von einer derartigen Sonnenuhr begreiflicherweise nicht zu erwarten.

Bestimmung des Frühlingspunktes. Da die Rectascension aller 33
Gestirne auf dem Aequator vom Frühlingspunkte an gezählt wird (S. 28), so ist es von der größten Wichtigkeit, daß nicht allein die Lage dieses Punktes, sondern auch der Moment genau bestimmt werde, in welchem der Mittelpunkt der Sonne denselben passirt.

Um den Zeitpunkt zu erhalten, in welchem die Sonne durch den Frühlingspunkt geht, bedarf es nichts weiter, als daß man an den Mittagen vor und nach diesem Durchgang die Höhe der Sonne im Meridian mit möglichster Genauigkeit mißt.

Man hat z. B. zu Wien, für welchen Ort die Aequatorhöhe $41^0\ 47'\ 24''$ beträgt, im Jahre 1830 die Höhe des Sonnenmittelpunktes zur Zeit des wahren Mittags gefunden:

am 20. März 41° 32′ 13″

am 21. März 41 55 54.

Daraus folgt, daß der Durchgang der Sonne durch den Aequator in der Zeit zwischen dem Mittage des 20. und des 21. März erfolgt ist.

In dieser Zwischenzeit von 24 Stunden hat die Höhe der Sonne um

23′ 41″

zugenommen. Zur Zeit des wahren Mittags am 20. März war die Höhe der Sonne noch um 15′ 11″ geringer als die Aequatorhöhe von Wien oder mit anderen Worten, die südliche Declination der Sonne betrug 15′ 11″.

Da man nun weiß, daß zur fraglichen Zeit die Declination der Sonne in 24 Stunden um 23′ 41″ zunimmt, und man ohne merklichen Fehler in der Zwischenzeit die Zunahme der Declination als gleichförmig annehmen kann, so hat man zur Berechnung des Zeitpunktes, in welchem der Mittelpunkt der Sonne den Aequator erreicht, die Proportion

$$23' \, 41'' : 24^h = 15' \, 11'' : x^h,$$

woraus folgt $x = 15{,}386$ Stunden oder $15^h \, 23' \, 10''$, d. h. der Durchgang des Sonnenmittelpunktes durch den Frühlingspunkt fand im Jahr 1830 $15^h \, 23' \, 10''$ nach dem wahren Mittag des 20. März Statt.

Um aber auch genau den Ort des Frühlingspunktes zu bestimmen, hat man nur an den genannten Tagen auch die Zeit der Culmination der Sonne und irgend eines Fixsternes zu beobachten. Hat man z. B. 1830 zu Wien beobachtet

	Culmination der Sonne	Culmination α arietis
am 20. März	12^h	$10^h \; 0' \; 1''$
am 21. März	12	10 3 39,

o ist klar, daß die Rectascension der Sonne vom wahren Mittag des 20. März bis zum wahren Mittag des 21. März also in 24 Stunden um 3′ 38″ gewachsen ist. Um zu finden, wie viel sie in $15^h \, 23' \, 10''$ zunimmt, haben wir also die Gleichung

$$24^h : 0^h \, 3' \, 38'' = 15^h \, 23' \, 10'' : x,$$

woraus $x = 0^h \, 2' \, 19''$.

Zur Zeit des wahren Mittags am 20. März war die Rectascensionsdifferenz zwischen Sonne und α arietis $12^h - (10^h \, 0' \, 1')$, also gleich $1^h \, 59' \, 59''$. Zur Zeit, in welcher die Sonne den Frühlingspunkt erreichte, war diese Differenz um 2′ 19″ kleiner, sie war also

$$1^h \, 57' \, 40''.$$

Dies ist nun die Rectascension von α arietis im Jahre 1830, wodurch dann die Lage des Frühlingspunktes für diese Zeit, d. h. der Winkel genau bestimmt ist, welchen der Aequinoctialcolur mit dem Declinationskreise des Sternes α arietis macht.

Der Durchgang der Sonne durch den Frühlingspunkt findet, dem Berliner astronomischen Jahrbuche zufolge, Statt

1853	20. März	5^h	9′	44″
1854	20. März	11	6	10
1855	20. März	16	32	39

Die Zeit vom Aequinoctium 1853 bis 1854 beträgt also 365 Tage 5^h 56′ 26″; zwischen den Durchgängen der Sonne durch den Frühlingspunkt in den Jahren 1854 und 1855 liegt dagegen eine Zeit von 365 Tagen 5^h 26′ 29″.

Man bezeichnet mit dem Namen des tropischen Jahres die Zeit zwischen zwei auf einander folgenden Durchgängen der Sonne durch den Frühlingspunkt. Man sieht aus der obigen Angabe, daß diese Zeit von einem Jahre zum anderen kleinen Schwankungen unterworfen ist; im Durchschnitt aber beträgt die Dauer des tropischen Jahres

365,24224 Tage

oder

365 Tage 5^h 48′ 51″,

was etwas weniger als $365^1/_4$ Tag ist.

Der Kalender. Das bürgerliche Jahr muß natürlich stets aus einer ganzen Anzahl von Tagen bestehen. Dadurch entsteht aber ein Unterschied zwischen dem bürgerlichen und dem tropischen Jahre, welcher jedoch durch besondere Bestimmungen der Kalenderrechnung, die wir sogleich näher betrachten wollen, wieder ausgeglichen werden kann. 34

Das Jahr der alten Aegyptier betrug stets 365 Tage, sie nahmen also das Jahr stets $^1/_4$ Tag zu kurz an, und dieser Fehler mußte sich im Laufe der Zeit so anhäufen, daß derselbe Kalendertag allmälig durch alle Jahreszeiten hindurchlief. Fiel z. B. zu einer bestimmten Zeit der 21. März mit dem Frühlingsäquinoctium zusammen, so mußte nach ungefähr 365 Jahren der 21. März in die Zeit des Sommersolstitiums fallen.

Um diesem Uebelstande abzuhelfen, verordnete Julius Cäsar im Jahre 45 v. Chr. eine Reform des Kalenders, welche darin bestand, daß das gemeine Jahr zu 365 Tagen gerechnet, daß aber alle 4 Jahre ein Tag eingeschaltet werden sollte, so daß das 4te Jahr stets 366 Tage hatte. Diese Jahre von 366 Tagen werden Schaltjahre genannt. Während der Februar eines gemeinen Jahres nur 28 Tage hat, so hat derselbe Monat in einem Schaltjahre 29 Tage.

Die Jahresdauer, wie sie Julius Cäsar angenommen hatte, nämlich $365^1/_4$ Tag, war noch nicht genau, sie war noch um 0,00776 Tage zu groß und daraus ergiebt sich ein Fehler von 0,776 Tagen in 100 Jahren, also nahe 3 Tagen in 400 Jahren. Der julianische Kalender hat also in 400 Jahren ungefähr 3 Tage zu viel.

Durch das Concilium von Nicäa wurde die Bestimmung getroffen, daß das Osterfest stets am ersten Sonntag gefeiert werden sollte, welcher dem ersten

Vollmond nach dem Frühlingsäquinoctium folgt. — Zur Zeit dieses Conciliums, im Jahre 325, fiel die Frühlings-Tag- und Nachtgleiche auf den 21. März. — Man fuhr nun fort, nach dem julianischen Kalender zu zählen bis 1582, zu welcher Zeit dann die Zeit des Frühlingsäquinoctiums schon merklich verrückt war; es fand nämlich nicht mehr am 21. März Statt, wie im Jahre 325, sondern es fiel auf den 11. März.

Vom Jahre 325 bis 1582 waren 1257 Jahre verflossen. Da der Fehler des julianischen Kalenders 0,00776 Tage im Jahre beträgt, so war er also im Laufe dieser 1257 Jahre auf 9,7, also fast auf 10 Tage gewachsen. Man hatte in der Zwischenzeit 10 Schalttage zu viel eingeschaltet und war dadurch um 10 Tage im Kalender zurückgekommen. Deshalb verordnete Gregor XIII., daß auf den 4. October 1582 gleich der 15. October folgen sollte, um so den seit dem Concilium von Nicäa angewachsenen Fehler auszugleichen.

Damit aber dieser Fehler für die Zukunft vermieden werde, wurde verordnet, daß alle 400 Jahre 3 Schalttage ausfallen sollten, was durch die Bestimmung erreicht werde, daß das erste Jahr eines jeden Jahrhunderts, welches nach dem julianischen Kalender ein Schaltjahr ist, nur 365 Tage haben sollte, wenn die Jahreszahl nicht durch 400 theilbar ist. So bleiben also die Jahre 1600 und 2000 Schaltjahre, die Jahre 1700, 1800, 1900 aber, sowie 2100, 2200, 2300 sind es nicht.

Der gregorianische Kalender wurde alsbald unter allen Völkern eingeführt, welche der römischen Kirche angehören; und bald wurde er auch von den Protestanten angenommen. Die Griechen und Russen haben noch bis auf den heutigen Tag den julianischen Kalender beibehalten, so daß ihre Zeitrechnung gegenwärtig um 12 Tage gegen die unsrige zurück ist. Der 1. Januar des russischen Kalenders ist der 13. Januar des unsrigen. Der 20. Mai alten Stils ist der 1. Juni neuen Stils.

35 **Rückgang der Aequinoctialpunkte.** Wir haben bisher den Frühlingspunkt als einen festen Punkt des Himmels betrachtet, was er aber in der That nicht ist. Verfolgt man den Lauf der Sonne längere Zeit, so ergiebt sich zwar, daß der Weg, welchen sie unter den Gestirnen beschreibt, im Wesentlichen ungeändert bleibt, daß aber die Punkte, in welchen die Ekliptik von dem Himmelsäquator durchschnitten wird, langsam von Osten nach Westen fortrücken, also der Bewegung der Sonne entgegen.

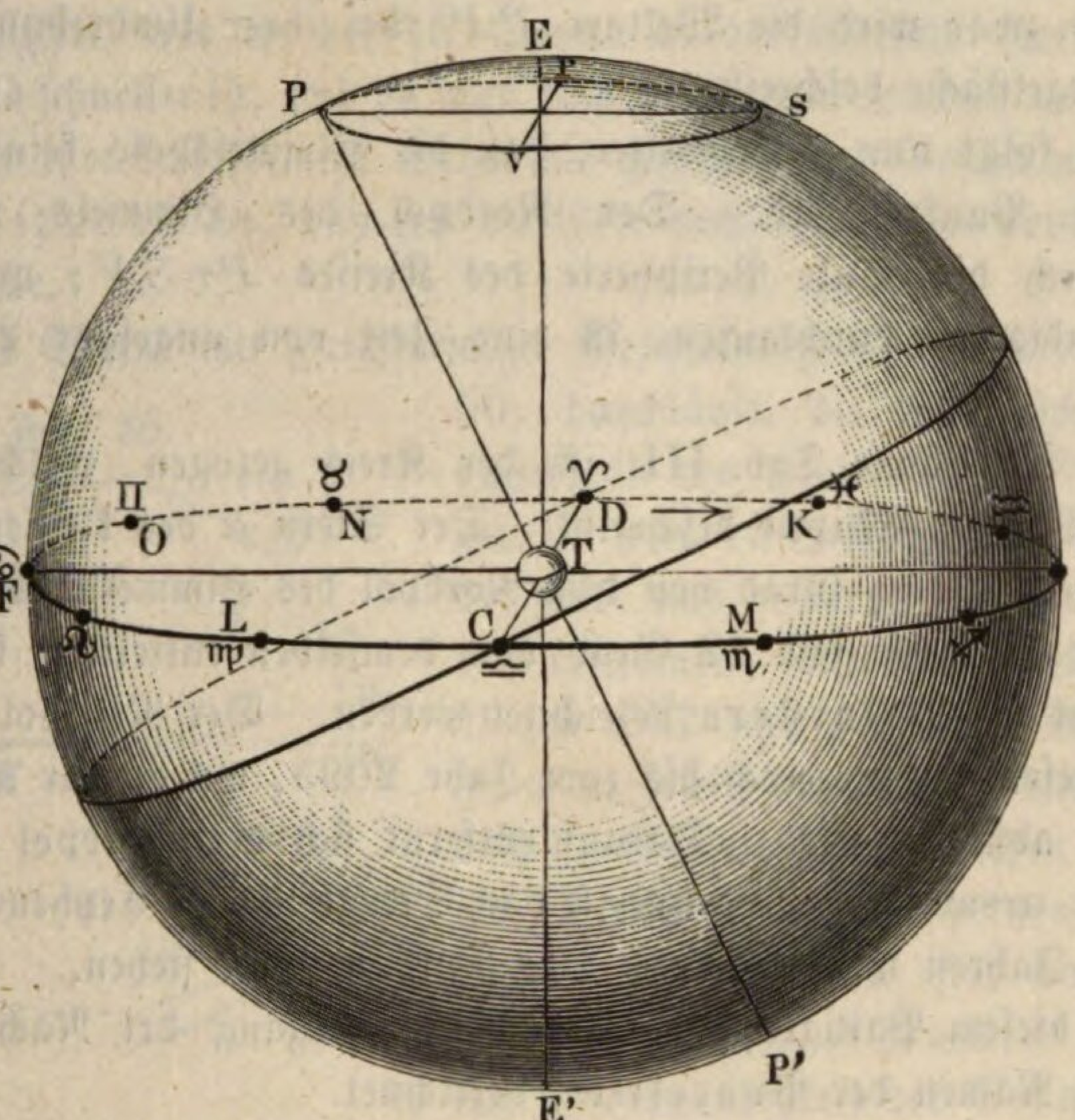
Im Laufe eines Jahrhunderts beträgt dieser Rückgang der Tag- und Nachtgleichen $1^0\ 23'\ 30''$, in einem Jahre also $50''$.

Da also der Frühlingspunkt stets von Osten nach Westen fortschreitet, so ist klar, daß die Länge der Gestirne fortwährend wächst. Hipparch fand z. B. im Jahre 130 v. Chr. die Länge von α virginis (Spica) gleich 174^0, während sie gegenwärtig $201{,}5^0$ ist. Dabei bleibt die Breite der Gestirne nahezu unverändert, weil die Ebene der Ekliptik ihre Lage nicht ändert.

Fig. 48 stellt die gegenseitige Lage der Ekliptik und des Himmelsäquators dar. Beide Ebenen schneiden sich in der Linie CD; C ist der Herbstpunkt, D

ist der Frühlingspunkt. Nach dem oben Gesagten muß diese Linie allmälig ihre Lage ändern; der Frühlingspunkt rückt von *D* gegen *K*, der Herbstpunkt von *C* gegen *L* fort; es ist also klar, daß der Frühlingspunkt im Laufe von Jahrtausenden von einem Sternbild zum anderen wandern wird. Wenn der Frühlingspunkt

Fig. 48.



sich gegenwärtig in *D* befindet, so wird er in 2333 Jahren um 30⁰ nach Westen gewandert sein, 0♈ wird alsdann an derselben Stelle des Himmels stehen, welche jetzt 0♓ ist, also in *K*.

Es ist bereits oben S. 64 u. 67 bemerkt worden, daß gegenwärtig der Frühlingspunkt ungefähr am westlichen Ende des Sternbildes der Fische liegt, vor 2300 Jahren lag also der Frühlingspunkt noch am westlichen Ende des Sternbildes des Widders, also an dem Punkt *N*, Fig. 48, den wir jetzt mit 0♉ bezeichnen. Damals fiel also das Zeichen des Widders mit dem Sternbild des Widders zusammen, die Sonne passirte den Frühlingspunkt mit dem Eintritt in das Sternbild des Widders. Aus dieser Zeit rührt wahrscheinlich die Eintheilung der Ekliptik in die 12 Zeichen des Thierkreises. Allmälig ging nun die Uebereinstimmung zwischen den Zeichen und den gleichnamigen Sternbildern verloren, weil der Frühlingspunkt auf das folgende Sternbild fortrückt, während man ihn doch stets als den Nullpunkt des ersten Zeichens im Thierkreis (0♈) beibehielt.

Da die Ebene der Sonnenbahn (gewisse Schwankungen abgerechnet, von denen alsbald die Rede sein wird) ungeändert bleibt, so läßt sich der Rückgang der Aequinoctialpunkte nur durch die Annahme erklären, daß die Ebene des

Himmelsäquators allmälig ihre Stellung ändert. Die Lage des Himmelsäquators ist aber durch die Richtung der Erdaxe bedingt, auf welcher derselbe rechtwinklig steht. In Fig. 48 seien E und E' die Pole der Ekliptik, PP' die Weltaxe, also die verlängerte Erdaxe. Wenn sich nun die Ebene des Himmelsäquators so drehen soll, daß ihre Durchschnittslinie mit der Ebene der Ekliptik sich aus der Lage CD gegen KL hin dreht, so muß auch die Weltaxe eine Drehung erleiden, und zwar wird die Weltaxe PP' bei ihrer Umdrehung um die Axe EE' eine Kegelfläche beschreiben.

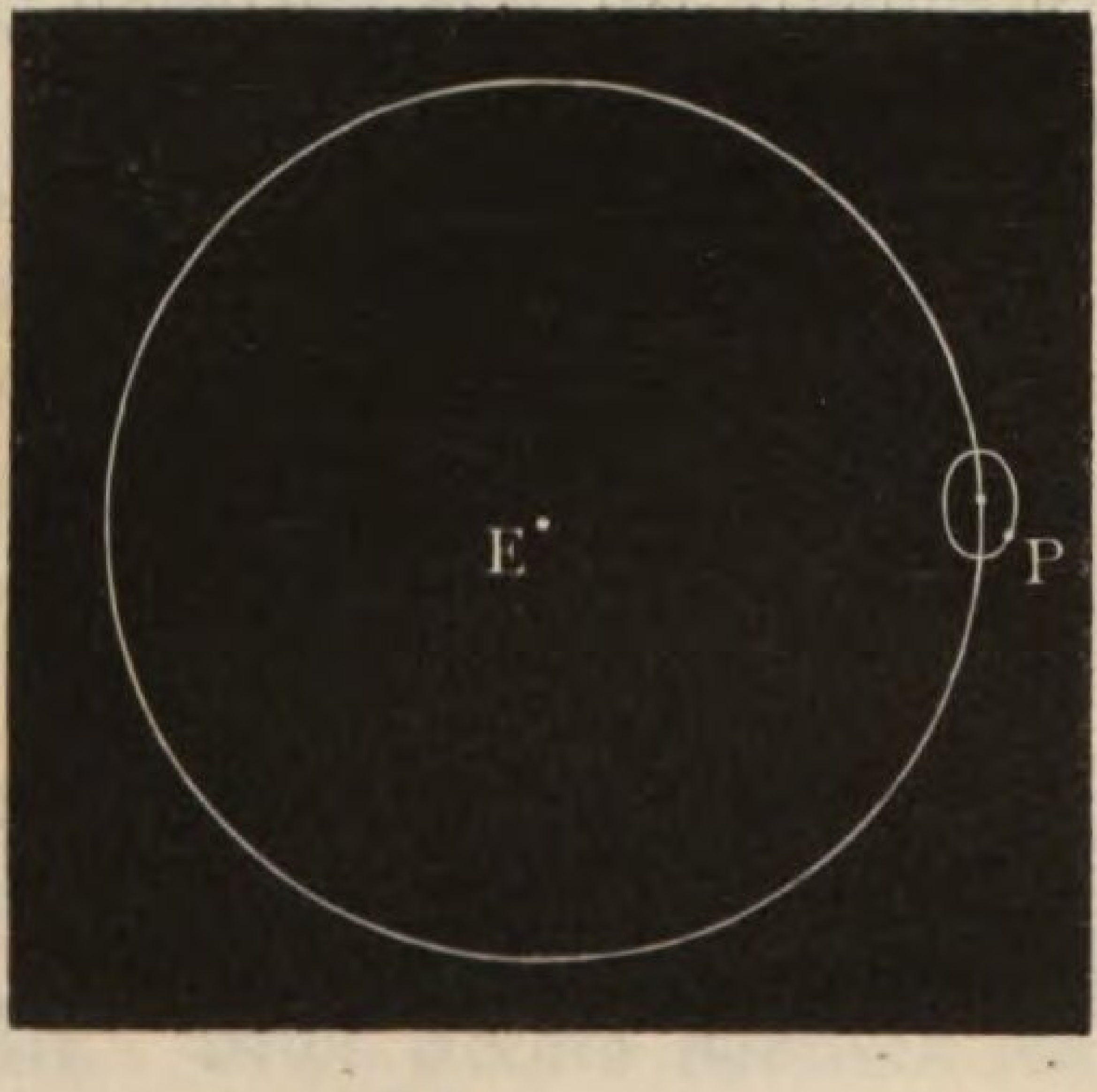
Daraus folgt nun auch weiter, daß die Himmelspole keine absolut unveränderlichen Punkte sind. Der Nordpol des Himmels wandert nach und nach durch die ganze Peripherie des Kreises $PrSV$; um aber diesen Kreis vollständig zu durchlaufen, ist eine Zeit von ungefähr 26000 Jahren nöthig.

In der Sternkarte Tab. III. ist der Kreis gezogen, welchen der Nordpol um den Pol der Ekliptik beschreibt. Der Stern α des kleinen Bären, welcher jetzt ungefähr $1\frac{1}{2}$ Grad von dem Nordpol des Himmels absteht, war zur Zeit Hipparch's noch fast 12 Grad von demselben entfernt, konnte damals also noch nicht als Polarstern bezeichnet werden. Der Nordpol des Himmels nähert sich diesem Sterne noch bis zum Jahr 2095, wo er nur noch 26 Minuten von ihm abstehen wird. Darauf entfernt sich der Nordpol des Himmels wieder von α ursae minoris, um in das Sternbild des Cepheus überzugehen. Nach 12000 Jahren wird α lyrae dem Nordpol nahe stehen.

Der in diesem Paragraphen besprochene Rückgang der Nachtgleichen wird auch mit dem Namen der Präcession bezeichnet.

36 **Nutation.** Der Rückgang der Aequinoctialpunkte ist nicht ganz gleichförmig, sondern er zeigt Schwankungen, deren Periode ungefähr $18\frac{1}{2}$ Jahr beträgt. Ebenso ist auch der Winkel, welchen die Erdaxe mit der Axe der Ekliptik macht, nicht ganz constant, sondern er erleidet kleine Variationen, welche an dieselbe Periode gebunden sind, indem sich die Erdaxe der Axe der Ekliptik abwechselnd etwas nähert und sich dann wieder von ihr entfernt. Dieses Wanken der Erdaxe bezeichnet man mit dem Namen der Nutation.

Fig. 49.

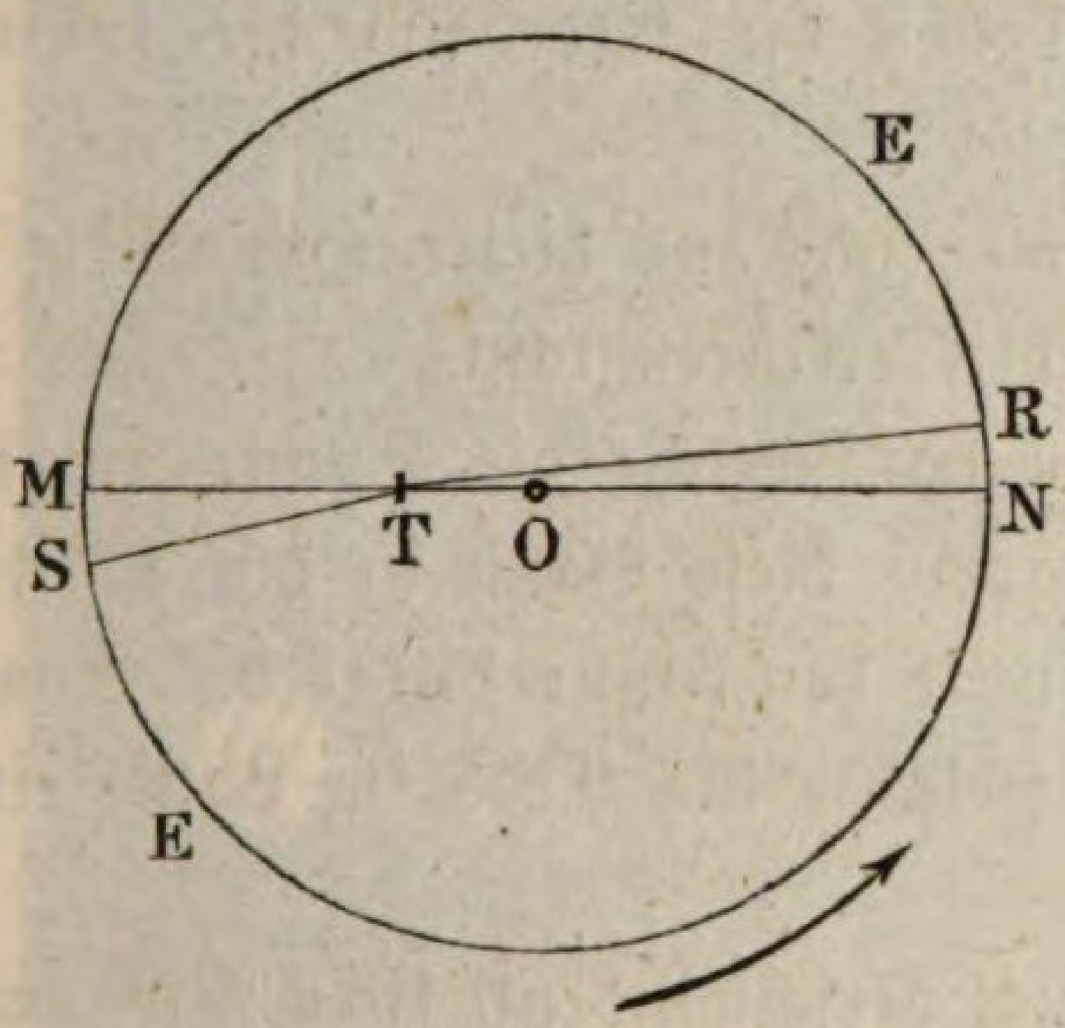


Der Nordpol des Himmels beschreibt also nicht, wie es in dem vorigen Paragraphen angenommen wurde, einen reinen Kreis um den Pol der Ekliptik, sondern eine wellenförmige Curve. Eine solche Bewegung erklärt sich wenn man annimmt, der Pol P, Fig. 49, bewege sich auf einer kleinen Ellipse, deren Mittelpunkt sich mit gleichförmiger Geschwindigkeit um den Pol E der Ekliptik bewegt. Die große Axe dieser kleinen Ellipse beträgt 9,6″, die kleine 8″.

Erklärung der scheinbaren Bewegung der Sonne. Am einfachsten scheint sich auf den ersten Anblick die scheinbare Bewegung der Sonne dadurch erklären zu lassen, daß man annimmt, die Sonne beschreibe wirklich um die feststehende Erde im Laufe eines Jahres einen Kreis, dessen Ebene einen Winkel von 23° 28′ mit der Ebene des Himmelsäquators macht. In der That war dies auch die im Alterthum herrschende Ansicht. Um aber zu erklären, daß die Geschwindigkeit, mit welcher die Sonne in der Ekliptik fortschreitet, bald langsamer, bald schneller ist, und da man doch die Hypothese nicht aufgeben wollte, daß die Sonne ihre kreisförmige Bahn mit gleichförmiger Geschwindigkeit durchliefe, nahm Hipparch an, daß sich die Erde nicht im Mittelpunkte der Sonnenbahn befände. 37

Wenn die Sonne mit gleichförmiger Geschwindigkeit den Kreis *EE*, Fig. 50, durchläuft, die Erde sich aber in *T* außerhalb des Kreismittelpunktes *O* befindet, so wird die Bewegung der Sonne, von der Erde aus gesehen, nicht mehr gleichförmig erscheinen; denn wenn auch die gleichen Bogen *NR* und *MS* von der Sonne in gleichen Zeiten durchlaufen werden, so sind doch die Winkel, unter welchen diese Bogen, von *T* aus gesehen, erscheinen, nicht gleich, sondern sie verhalten sich umgekehrt wie die Entfernungen *NT* und *MT*; die scheinbare Geschwindigkeit der Sonne ist kleiner, wenn sie sich bei *N*, als wenn sie sich bei *M* befindet.

Fig. 50.



Denken wir uns durch den Mittelpunkt *O* des Kreises *EE* und die Erde *T* eine gerade Linie gezogen, welche den Kreis in den Punkten *M* und *N* schneidet, so befindet sich die Sonne bei *M* in der kleinsten, bei *N* in der größten Entfernung von der Erde, der Punkt *M* wird deshalb das Perigäum (Erdnähe), *N* aber das Apogäum (Erdferne) genannt. Die Sonne passirt das Perigäum zu Ende December, das Apogäum zu Ende Juni.

Unter der Voraussetzung, daß sich die Sonne mit gleichförmiger Geschwindigkeit in ihrer Bahn fortbewegt, kann nun das Verhältniß der Excentricität *OT* zum Halbmesser *OM* leicht aus der Vergleichung des größten und kleinsten Winkels abgeleitet werden, um welchen die Länge der Sonne in 24 Stunden zunimmt. Diese Winkel sind aber 1° 1′ 10,1″ oder 3670,1″ und 57′ 11,5″ oder 3431,5″ (Seite 68); wir haben also

$$TM : TN = 3431{,}5 : 3670{,}1,$$

woraus sich die Excentricität *OT* ungefähr gleich $^1/_{30}$ vom Halbmesser der Sonnenbahn ergeben würde.

Die Hypothese von der gleichförmigen Geschwindigkeit der Sonne mußte aber nothwendig aufgegeben werden, nachdem man einmal dahin gekommen war, den scheinbaren Durchmesser dieses Gestirns zu verschiedenen Zeiten des Jahres

mit Genauigkeit zu messen. Wäre Hipparch's Hypothese richtig, so müßten sich die scheinbaren Durchmesser der Sonne zu Ende Juni und zu Ende December gleichfalls verhalten wie 3431,5 : 3670,1, während in der That die Sonnendurchmesser zu dieser Zeit 31′ 31,0″ und 32′ 35,6″ sind, sich also verhalten wie 1891,0 zu 1955,6. Daraus geht hervor, daß die Entfernungen *TM* und *TN* sich gleichfalls verhalten müssen wie 1891,0 zu 1955,6, woraus folgt, daß die Excentricität der Sonnenbahn in der That nur $1/_{60}$ ist.

Die gerade Linie *MTON*, welche die Erde mit dem Mittelpunkte der Sonnenbahn verbindet, wird die Absidenlinie genannt.

38 **Jährliche Bewegung der Erde um die Sonne.** Aus Gründen, welche erst in dem Capitel von der Planetenbewegung ihre volle Würdigung finden können, hat man die Annahme, daß die Erde fest stehe und die Sonne um sie herumlaufe, verlassen und läßt statt dessen die Erde um die ruhende Sonne kreisen.

Wir wollen nun zunächst untersuchen, wie sich aus dieser Hypothese die scheinbare Bewegung der Sonne in der Ekliptik erklären läßt.

Der äußere Kreis Tab. V. stellt die Bahn dar, welche die Sonne scheinbar während eines Jahres durchläuft, und zwar ist diese Bahn in die 12 Zeichen des Thierkreises eingetheilt. Den Mittelpunkt der Figur bildet die Sonne, und um dieselbe ist dann der Kreis gezogen, welchen die Erde im Laufe eines Jahres wirklich durchläuft.

Der Durchmesser der Erdbahn sollte freilich verschwindend klein sein gegen den Durchmesser des Thierkreises. Obgleich nun dies Verhältniß auch nicht entfernt annähernd eingehalten ist, so kann man doch aus dieser Figur ersehen, an welcher Stelle des Himmels die Ekliptik erscheinen muß, wenn die Erde verschiedene Orte ihrer Bahn einnimmt.

Befindet sich die Erde in *A*, so trifft eine von *A* aus nach der Sonne gezogene und über dieselbe hinaus verlängerte Linie die Ekliptik in dem Punkte 0 ♈, *A* ist also der Ort, an welchem sich die Erde zur Zeit des Frühlingsäquinoctiums befindet. Während nun die Erde in der Richtung des Pfeils von *A* bis *B* fortschreitet, scheint, von ihr aus gesehen, die Sonne die Zeichen Widder, Stier und Zwillinge zu durchlaufen, und wenn die Erde in *B* angekommen ist, so steht die Sonne offenbar gerade vor 0 ♋, d. h. sie tritt gerade in das Zeichen des Krebses ein.

Während die Erde den zweiten, dritten und vierten Quadranten, also die Wege von *B* bis *C*, von *C* bis *D*, von *D* bis *A* durchläuft, bewegt sich die Sonne scheinbar der Reihe nach vor den Sternzeichen Krebs, Löwe, Jungfrau, Wage, Scorpion, Schütze, Steinbock, Wassermann und Fische her, die Sonne scheint also die Ekliptik in der angegebenen Richtung zu durchlaufen.

Während die Erde in der angegebenen Weise um die Sonne herumläuft, dreht sie sich aber auch noch in je 24 Stunden um ihre Axe; die Erdaxe aber steht nicht rechtwinklig auf der Ebene der Ekliptik, sondern sie macht einen Winkel von 66° 32′ mit derselben, so daß also der Erdäquator, mithin auch

der Himmelsäquator einen Winkel von 23° 28′ mit der Ebene der Erdbahn machen.

Da nun die Lage der Weltaxe, sowie die Lage des Himmelsäquators das ganze Jahr hindurch unverändert bleiben, so müssen wir annehmen, daß die Erdaxe trotz der fortschreitenden Bewegung der Erde doch stets dieselbe Richtung im Weltraume beibehält, daß also die Erdaxe immer parallel mit sich selbst fortrückt. Es ist dies zwar auch in Tab. V. zu erkennen, deutlicher aber sieht man es in Fig. 51, welche die Erdbahn perspectivisch darstellt.

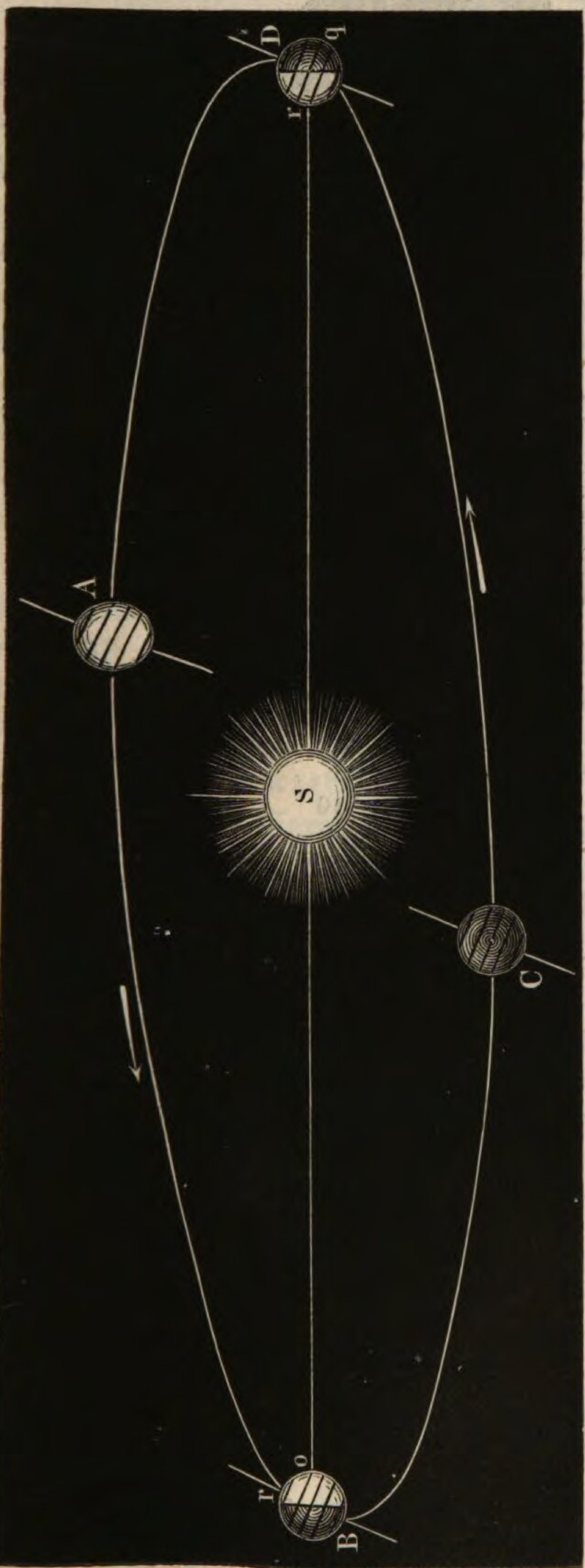


Fig. 51.

Betrachten wir das Verhältniß der Erde zu den Sonnenstrahlen etwas näher, so sehen wir, daß zur Zeit des Wintersolstitiums, also wenn die Erde bei *D*, Fig. 51, steht, die Sonnenstrahlen rechtwinklig auf einen Punkt *r* fallen, welcher 23° 28′ südlich vom Aequator liegt.

In Fig. 51 ist die Erdkugel zu klein, um die hier in Frage kommenden Verhältnisse recht deutlich übersehen zu können, deshalb ist sie in Fig. 52 in gleicher Stellung, wie bei *D*, Fig. 51, in vergrößertem Maßstab dargestellt, und Fig. 53 zeigt die auf die Ebene der Ekliptik projicirte Erdkugel zur Zeit des Wintersolstitiums.

Der Parallelkreis *rq*, welcher 23° 28′ südlich vom Aequator liegt, ist die südlichste Gränze, für welche die Sonne im Zenith erscheinen kann. Weil nun die Sonne, wenn sie bei *D* steht, in das Zeichen des Steinbocks eintritt, so heißt dieser Parallelkreis *rq* der **Wendekreis des Steinbocks**.

Wenn die Sonne in das Zeichen des Steinbocks tritt, wenn sich die Erde also bei *D*, Tab. V.

und Fig. 51, befindet, so tangiren die Sonnenstrahlen die nördliche Erdhälfte

Fig. 52.

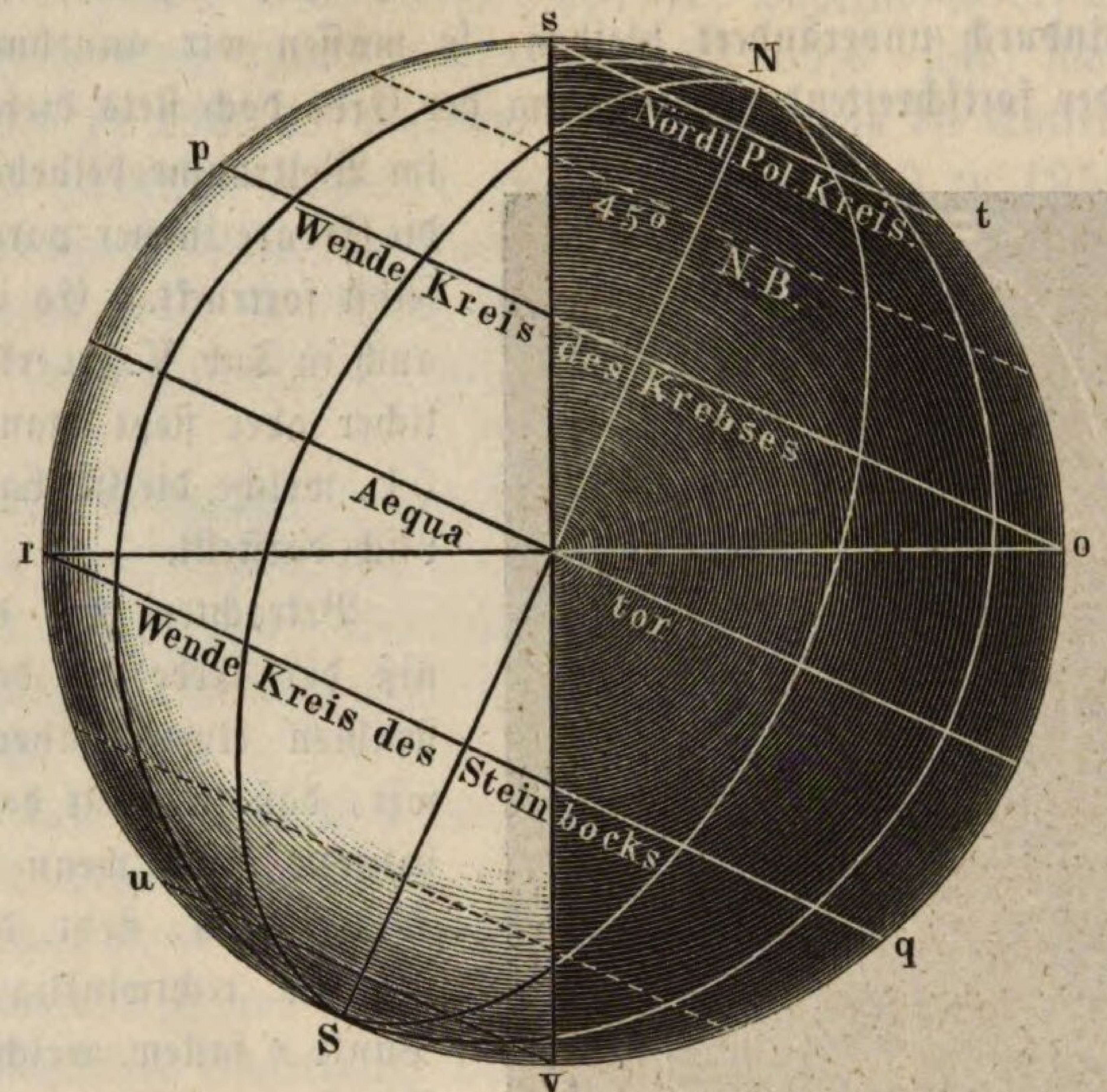
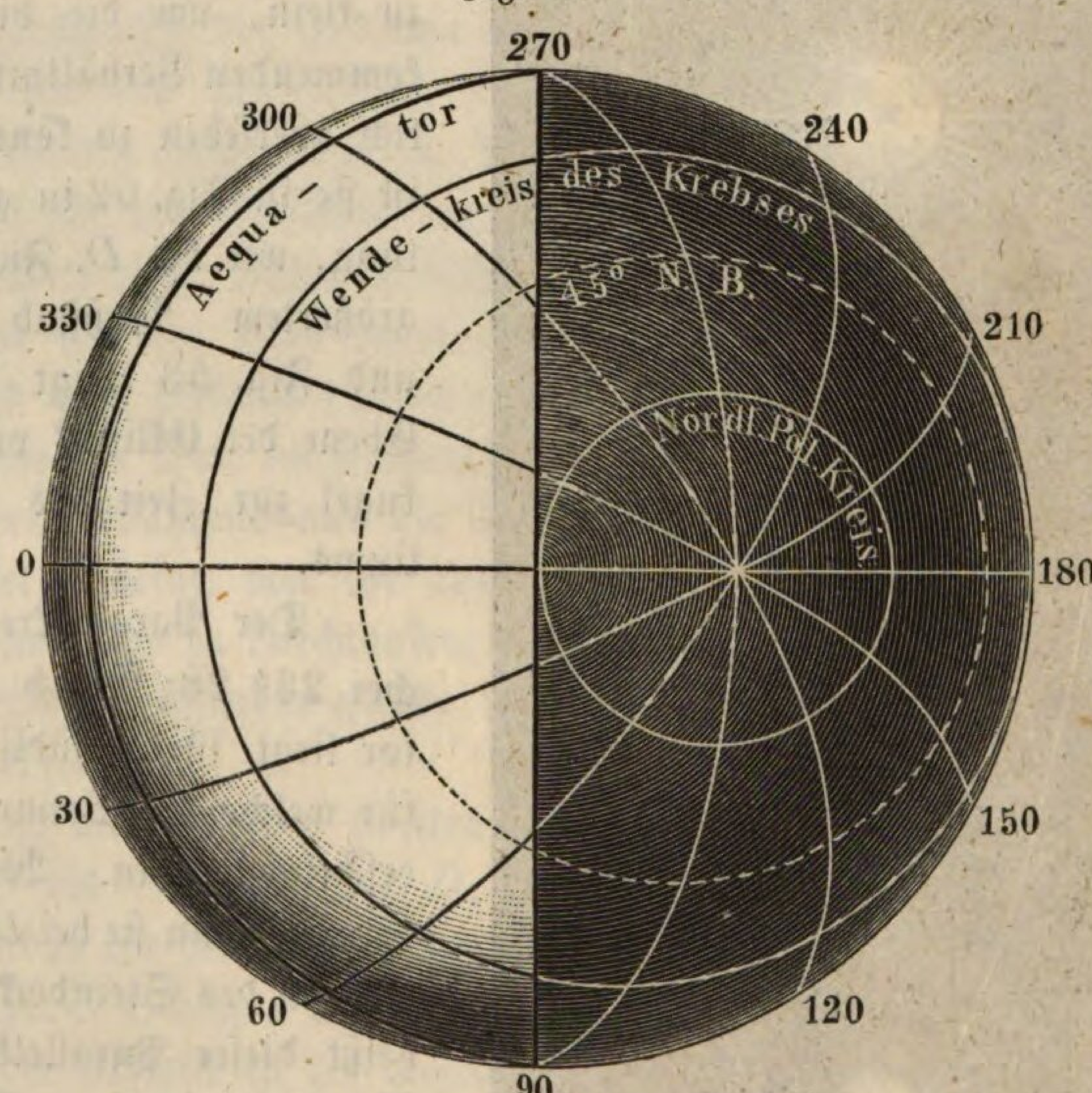


Fig. 53.



in *s*, die südliche in *v*. Der durch *s* gelegte Parallelkreis *st* heißt der nördliche, der durch *v* gelegte Parallelkreis *uv* heißt der südliche Polarkreis.

Der südliche Polarkreis *uv* bildet die Gränze derjenigen Orte, für welche zur Zeit des Wintersolstitiums in Folge der Axendrehung der Erde noch ein Auf- und Untergang der Sonne innerhalb 24 Stunden stattfindet. Für alle Orte des südlichen Polarkreises ist der längste Tag 24 Stunden und für alle Orte, welche innerhalb des südlichen Polarkreises liegen, geht zur Zeit des Wintersolstitiums die Sonne nicht mehr unter (siehe oben §. 16).

Von dem ganzen Flächenraum, welcher innerhalb des nördlichen Polarkreises *st* liegt, bleiben zur Zeit des Wintersolstitiums die Sonnenstrahlen gänzlich abgehalten. Es ist dies die Zeit der längsten Nacht für die nördliche Hemisphäre, und diese dauert auf dem nördlichen Polarkreis 24 Stunden.

Von *D*, Tab. V. und Fig. 51, aus gelangt die Erde während des nächsten Vierteljahres nach *A*, und nun tritt die Sonne in das Zeichen des Widders. Es ist dies die Zeit des Frühlings-Aequinoctiums. Die Sonnenstrahlen treffen jetzt rechtwinklig auf einen Punkt des Aequators und tangiren die beiden Pole. Der größte Kreis der Erdkugel, welcher die beleuchtete von der dunklen Erdhälfte scheidet, geht also jetzt durch die beiden Pole, er halbirt also alle Parallelkreise, und daher kommt es denn, daß um diese Zeit Tag und Nacht auf der ganzen Erde gleich sind.

Wenn die Erde in *B* angekommen ist, wenn sie also ins Zeichen des Krebses eintritt, so fallen die Sonnenstrahlen rechtwinklig auf denjenigen Punkt *o* des 23° 28′ nördlich vom Aequator liegenden Kreises *op*, für welchen die Sonne gerade culminirt. Der Kreis *op* enthält also die nördlichsten Punkte der Erde, für welche die Sonne noch ins Zenith kommen kann. Er wird der Wendekreis des Krebses genannt.

Zur Zeit des Sommersolstitiums geht während der täglichen Umdrehung die Sonne innerhalb des nördlichen Polarkreises nicht mehr unter, innerhalb des südlichen nicht mehr auf. Der nördliche Polarkreis hat jetzt seinen längsten Tag von 24 Stunden, und ebenso lang ist zu dieser Zeit die Nacht des südlichen Polarkreises.

Zur Zeit des Herbstäquinoctiums, wenn die Erde in *C* angelangt ist, sind die Insolationsverhältnisse dieselben wie zur Zeit der Frühlings-Tag- und Nachtgleiche.

Eintheilung der Erde in fünf Zonen. Durch die beiden Wendekreise und die beiden Polarkreise wird die Erde in fünf Zonen getheilt. 39

Die heiße Zone ist der Erdgürtel, welcher zwischen den beiden Wendekreisen liegt und dessen Mitte der Erdäquator bildet.

Die nördliche gemäßigte Zone ist der Raum zwischen dem Wendekreis des Krebses *po*, Fig. 54 (a. f. S.), und dem nördlichen Polarkreis *st*. Diesem entspricht die südliche gemäßigte Zone zwischen dem südlichen Wendekreis *rq* (dem Wendekreis des Steinbocks) und dem südlichen Polarkreis *uv*.

Die nördliche und südliche kalte Zone endlich sind die durch den nördlichen und südlichen Polarkreis eingeschlossenen Flächenräume. Der Nordpol bil-

det den Mittelpunkt der nördlichen, der Südpol bildet den Mittelpunkt der südlichen kalten Zone.

Fig. 54.



Am 21. Juni erreicht die Sonne für die auf dem nördlichen Wendekreise gelegenen Orte zur Mittagszeit das Zenith, während am 21. December für dieselben Orte zur Mittagszeit die Sonne 46° 56′ von dem Zenith absteht. Auf den Wendekreisen variirt also die Höhe der Sonne zur Mittagszeit von 43° 4′ bis 90°.

An allen zwischen den beiden Wendekreisen gelegenen Orten geht die Sonne **zweimal** im Jahr durch das Zenith. Die Zeitpunkte aber, in welchen dies stattfindet, rücken um so weiter aus einander, je weiter man sich von den Wendekreisen aus dem Aequator nähert. Auf dem Aequator selbst liegen diese Zeitpunkte um ½ Jahr aus einander, indem hier die Sonne das Zenith zur Zeit des Frühlings- und des Herbstäquinoctiums passirt.

Für den Aequator ist die größte Höhe, welche die Sonne des Mittags erreicht, 90°, die geringste 66° 32′.

Der niedrigste Sonnenstand für den Aequator ist also immer noch etwa um 3° größer als der höchste Stand, welchen die Sonne im mittleren Deutschland am 21. Juni erreicht, und für die Wendekreise ist der niedrigste Sonnenstand ungefähr demjenigen gleich, welcher auf dem 50. Breitegrade zu Ende März stattfindet. Der ganze Erdgürtel, welcher zwischen den beiden Wendekreisen liegt, ist demnach das ganze Jahr hindurch einer sehr kräftigen Wirkung der Sonnenstrahlen ausgesetzt, weshalb er auch den Namen der **heißen Zone** führt.

Außerhalb der Wendekreise erreicht die Sonne nie mehr das Zenith, und ihre Strahlen fallen um so schräger auf, je mehr man sich den Polen nähert. Auf den Polarkreisen ist die größte Mittagshöhe, welche die Sonne erreicht, ungefähr der geringsten Mittagshöhe der Wendekreise gleich. Zur Winterszeit aber sinkt die Höhe der Sonne um Mittag auf den Polarkreisen bis auf 0 herab; es ist also klar, daß die Wärme, welche durch die Sonnenstrahlen auf der Erdoberfläche hervorgebracht wird, von den Wendekreisen gegen die Polarkreise hin rasch abnehmen muß.

Ueber die Polarkreise hinaus, wo die Sonnenstrahlen längere Zeit gar nicht hintreffen und wo sie, wenn die Sonne auch über dem Horizont steht, doch nur sehr schräg auffallen, muß nothwendig eine sehr niedrige Temperatur herrschen; deshalb heißt auch der vom nördlichen Polarkreis eingeschlossene Flächenraum die **nördliche kalte Zone**, während der entsprechende den Südpol umgebende Raum die **südliche kalte Zone** genannt wird.

Da die Wärmeentwickelung auf der Erdoberfläche fast ausschließlich von den Sonnenstrahlen herrührt, so ist klar, daß das Klima eines Landes vorzugsweise durch die Insolationsverhältnisse bedingt ist; die Wirksamkeit der Sonnenstrahlen wird aber noch durch mancherlei Umstände modificirt, und so kommt es, daß Orte von gleicher geographischer Breite keineswegs auch stets gleiches Klima haben, wie dies im dritten Buche ausführlicher wird besprochen werden.

Die Abwechselung unserer Jahreszeiten hängt von dem Wechsel der Insolationsverhältnisse ab. In unserem Kalender wird als Frühling die Zeit bezeichnet, während welcher die Sonne den Bogen vom Frühlingspunkte bis zum nördlichen Solstitialpunkte durchläuft.

Während unseres Sommers geht die Sonne vom nördlichen Solstitialpunkte bis zum Herbstpunkte. Herbst und Winter sind die Zeiten, während welcher die Sonne vom Herbstpunkt bis zum südlichen Solstitialpunkte und von diesem wieder bis zum Frühlingspunkt fortschreitet.

Tagesdauer an verschiedenen Orten und in verschiedenen Jahreszeiten. 40 Nach §. 16 ist es klar, daß die Dauer des Tages, d. h. die Zeit, während welcher die Sonne über dem Horizont bleibt, von der Stellung abhängt, welche dieses Gestirn gerade am Himmel einnimmt, daß sie sich also mit der Jahreszeit ändert.

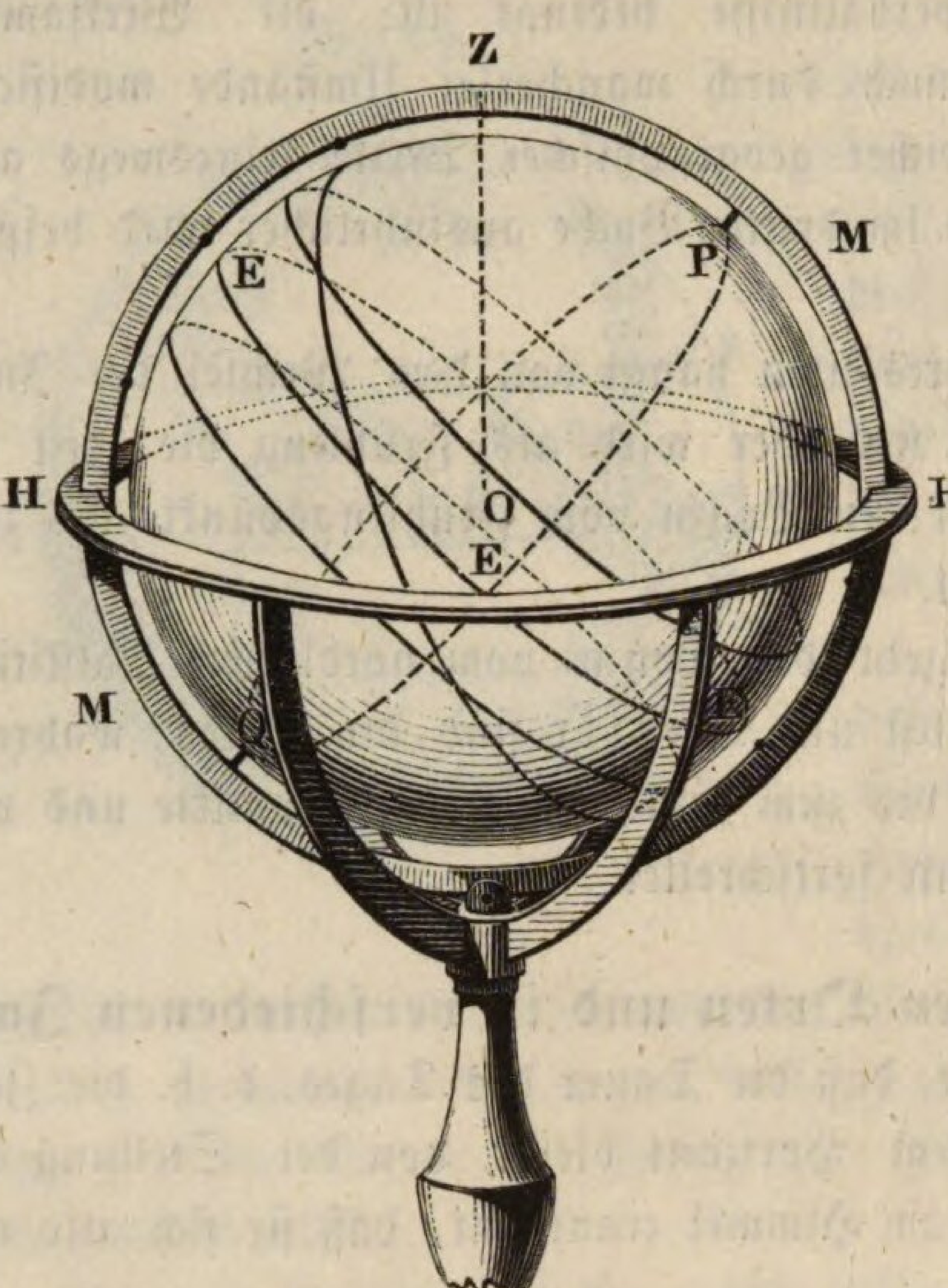
Wenn die Sonne gerade auf dem Himmelsäquator steht, so ist für alle Orte der Erde ihr Tagbogen dem Nachtbogen gleich, Tag und Nacht sind überall gleich lang, daher denn auch die Punkte, in welchen die Sonnenbahn den Himmelsäquator schneidet, Aequinoctialpunkte genannt werden.

Je mehr die nördliche Declination der Sonne zunimmt, desto mehr wächst für die nördliche Erdhälfte ihr Tagbogen, bis er endlich zur Zeit des Sommersolstitiums ein Maximum wird. Befindet sich dagegen die Sonne auf der südlichen Hemisphäre des Himmels, so ist auf der Nordhälfte der Erde der Tagbogen kleiner, der Nachtbogen größer, und am längsten wird die Nacht zur Zeit des Wintersolstitiums.

Wie lang für einen bestimmten Ort der Erde die Dauer des Tages zu einer gegebenen Zeit des Jahres sei, kann man mit Hülfe eines Himmelsglobus leicht ermitteln. Man braucht nur die Axe PQ des Globus, Fig. 55 (a. f. S.), so gegen die Ebene des Horizontes HH zu neigen, wie es der Polhöhe des Ortes entspricht, und alsdann diejenigen Stelle der Ekliptik zu bezeichnen, an welcher sich gerade die Sonne befindet. Man kann nun leicht mittelst des Stundenkreises sehen, wie viel Stunden der Tagbogen der Sonne beträgt. Soll z. B. ermittelt werden, wie groß der Tagbogen der Sonne am 1. Mai für das mittlere Deutschland sei, so hat man zunächst den Globus so zu stellen, daß die Axe PQ einen Winkel von 50 Grad gegen den Horizont macht. Am 1. Mai ist die Länge der Sonne $40^1/_2$ Grad, man hat also auf der Ekliptik $40^1/_2$ Grad vom Frühlingspunkte an nach Osten zu zählen, um den Punkt zu finden, an welchem sich gerade die Sonne befindet. Der Globus wird nun in diejenige

Stellung gebracht, welche dem Aufgang des bezeichneten Punktes entspricht, und

Fig. 55.



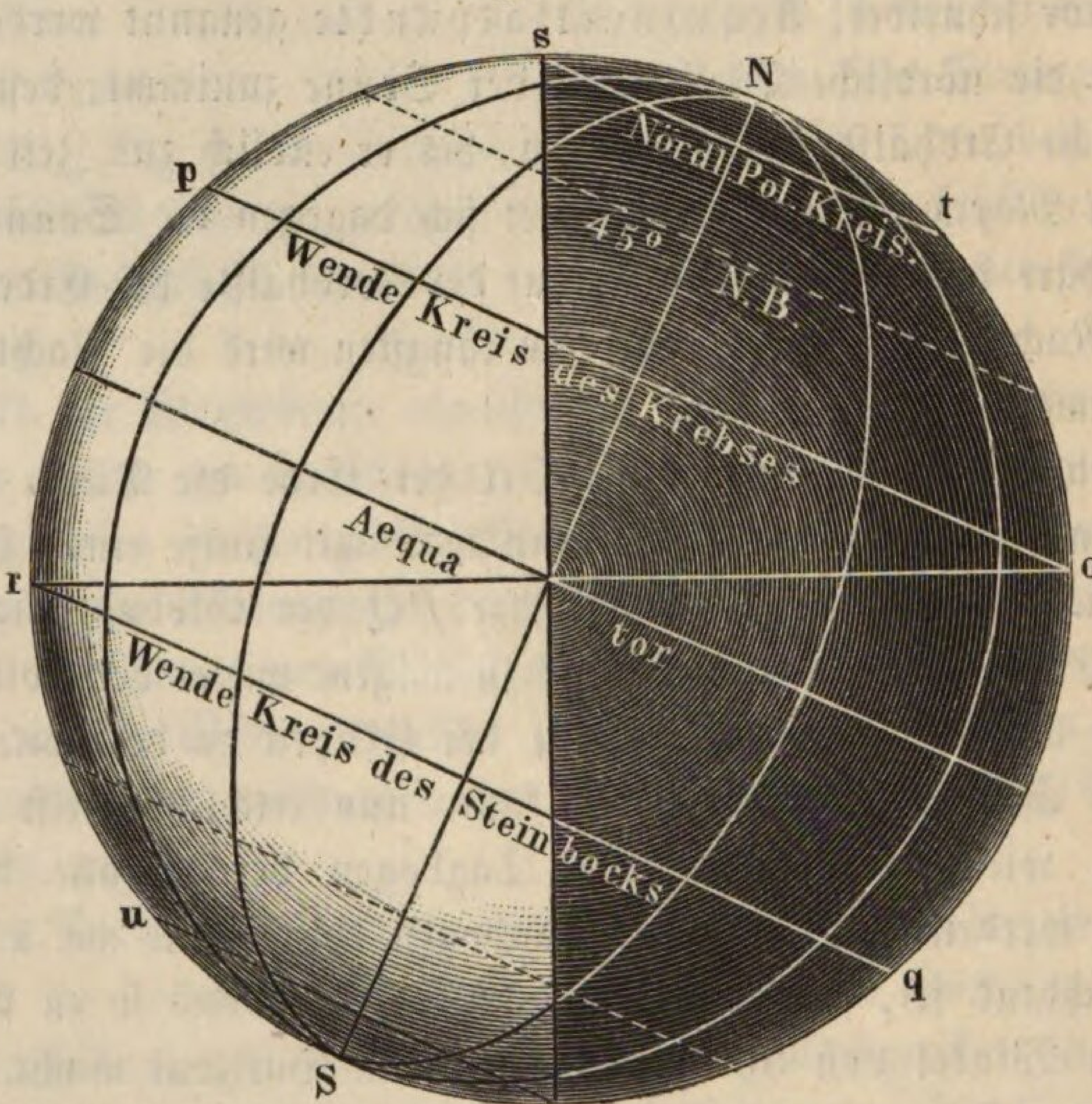
die Stellung des Zeigers auf dem Stundenkreise gemerkt; alsdann wird die Kugel von Ost nach West bis zum Untergang des bezeichneten Punktes gedreht und die Größe der Drehung auf dem Stundenkreis abgelesen. Man findet auf diese Weise für den Tagbogen der Sonne am 1. Mai im mittleren Deutschland 14½ Stunde.

Nach diesem Verfahren ist es auch leicht, die Dauer des längsten und des kürzesten Tages für einen beliebigen Ort auf der Erde zu finden.

Diese Aufgabe läßt sich auch ohne Globus mit Hülfe einer einfachen geometrischen Construction auflösen.

Fig. 56 stelle die Erde zur Zeit des Wintersolstitiums dar, und zwar auf eine Ebene projicirt, welche mit der Erdaxe parallel und rechtwinklig auf der

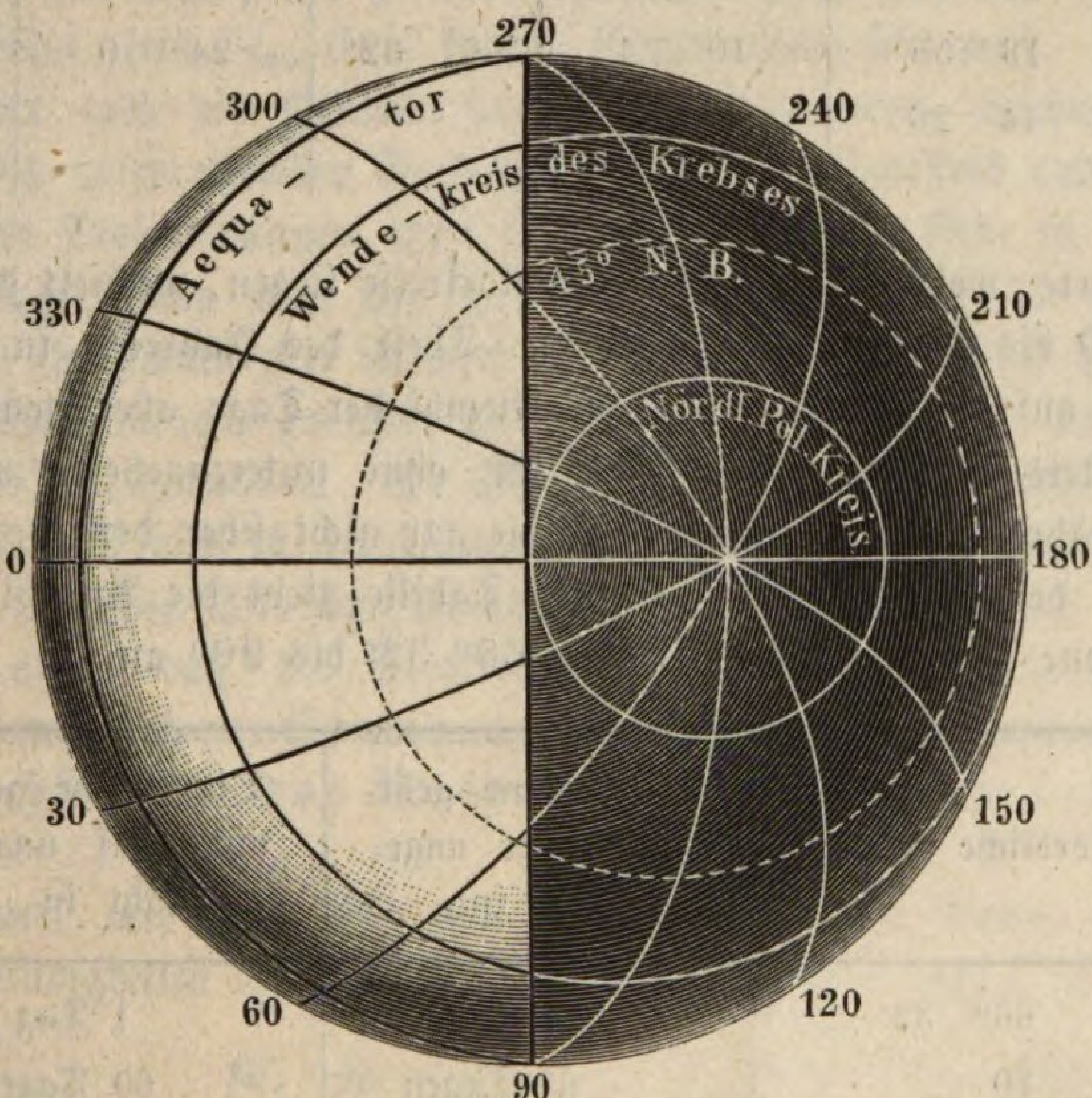
Fig. 56.



Ebene der Ekliptik steht. Alle Parallelkreise erscheinen hier zur Linie verkürzt. — Die Linie *sv*, welche die beleuchtete Erdhälfte von der dunklen scheidet, theilt den Aequator in zwei gleiche Theile, alle übrigen Parallelkreise aber in ungleiche Theile. Derjenige Theil eines Parallelkreises nun, welcher auf der erleuchteten Erdhälfte liegt, verhält sich zum ganzen Kreisumfang wie die Dauer des kürzesten Tages zu 24 Stunden. Um die Dauer des kürzesten Tages für einen gegebenen Parallelkreis zu bestimmen, hat man also nur zu ermitteln, wie groß der erleuchtete Bogen dieses Parallelkreises ist.

Um dies besser zu übersehen, ist die Erde in ihrer dem Wintersolstitium entsprechenden Lage, Fig. 57, auf die Ebene der Ekliptik projicirt, dargestellt. Man sieht hier, wie in Fig. 56, daß um diese Zeit der ganze nördliche Polarkreis in Schatten liegt, daß für diesen also die Dauer der längsten Nacht 24 Stunden beträgt, die Dauer des kürzesten Tages also 0 ist.

Fig. 57.



Von dem Parallelkreis 45 Grad nördlicher Breite sind ungefähr 128 Grade erleuchtet. Da nun 15 Bogengrade einer Stunde entsprechen, so ist also für den 45. Grad nördlicher Breite die Dauer des kürzesten Tages $\frac{128}{15} = 8,5$ Stunden.

Ebenso ergiebt sich aus der Figur, daß für den nördlichen Wendekreis die Dauer des kürzesten Tages zwischen 10 und 11 Stunden beträgt.

Die folgende Tabelle giebt die Dauer des längsten und des kürzesten Tages für verschiedene geographische Breiten an:

Breite.	Dauer des längsten Tages.	Dauer des kürzesten Tages.	Breite.	Dauer des längsten Tages.	Dauer des kürzesten Tages.
0°	12h 0′	12h 0′	40°	14h 51′	9h 9′
5	12 17	11 43	45	15 26	8 34
10	12 35	11 25	50	16 9	7 51
15	12 53	11 7	55	17 7	6 53
20	13 13	10 47	60	18 30	5 30
25	13 34	10 26	65	21 9	2 51
30	13 56	10 4	66° 32′	24 0	0 0
35	14 26	9 38			

Für Orte, welche innerhalb der Polarkreise liegen, wechselt die Dauer des Tages von 0 bis 24 Stunden in dem Theil des Jahres, in welchem die Sonne noch auf- und untergeht. Die Anzahl der Tage aber, während welcher die Sonne stets über dem Horizont bleibt, ohne unterzugehen, und die Zahl der Tage, während welcher sich die Sonne gar nicht über den Horizont erhebt, wechselt mit der Breite. Die folgende Tabelle giebt die Anzahl dieser Tage für verschiedene nördliche Breiten von 66° 32′ bis 90° an.

Nördliche Breite.	Die Sonne geht nicht unter ungefähr in	Die Sonne geht nicht auf ungefähr in
66° 32′	1 Tag	1 Tag
70	65 Tagen	60 Tagen
75	103 »	97 »
80	134 »	127 »
85	161 »	153 »
90	186 »	179 »

Daß für die nördliche kalte Zone die Zahl der Tage, an welchen die Sonne nicht untergeht, größer ist, als die Zahl der Tage, an welchen sie unter dem Horizont bleibt, rührt daher, daß die Sonne überhaupt länger auf der nördlichen Hemisphäre des Himmels verweilt als auf der südlichen. Für die südliche kalte Zone ist die Zahl der Tage, an welchen die Sonne nicht aufgeht, gleich der Zahl der Tage, an welchen in gleicher nördlicher Breite kein Untergang stattfindet. In einer südlichen Breite von 75 Grad bleibt die Sonne

103 Tage anhaltend unsichtbar, während sie dann wieder 97 Tage lang nicht untergeht.

Wir haben hier die Tagesdauer betrachtet, wie sie sich aus rein geometrischen Betrachtungen ergiebt, ohne Rücksicht auf den Einfluß der atmosphärischen Strahlenbrechung und der Dämmerung zu nehmen. Wie durch diese Einflüsse die Dauer des Tages verlängert wird, können wir erst im zweiten Buche untersuchen.

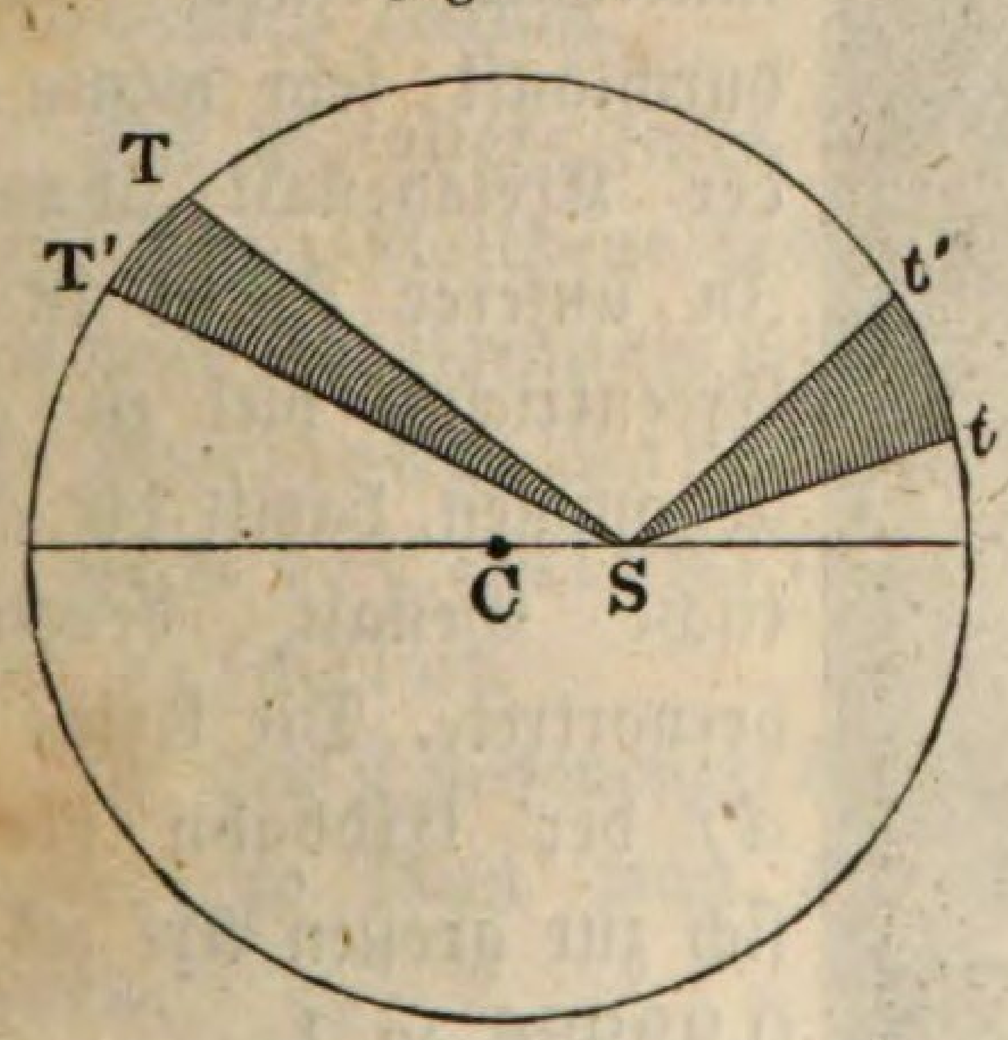
Wahre Gestalt der Erdbahn. Wir haben gesehen, daß der scheinbare Durchmesser der Sonne im Laufe eines Jahres bald ab-, bald zunimmt. Wenn man nun die scheinbare Bewegung der Sonne in allen ihren Verhältnissen und Beziehungen durch eine wirkliche Bewegung der Erde erklären will, so darf man die Sonne nicht in den Mittelpunkt der Erdbahn setzen, und zwar folgt aus den am Schluß des §. 37 entwickelten Gründen, daß die Excentricität der Erdbahn gleich $^1/_{60}$ ihres halben Durchmessers sein muß. 41

Um aber auch die Veränderungen der scheinbaren Geschwindigkeit der Sonne mit den entsprechenden Variationen ihres Durchmessers und den daraus sich ergebenden Veränderungen ihrer Entfernung von der Erde in Uebereinstimmung zu bringen, muß man die Ansicht aufgeben, als ob die Erde sich mit gleichförmiger Geschwindigkeit in ihrer Bahn fortbewegte. Nach §. 37 verhalten sich die Entfernungen zwischen Erde und Sonne am 1. Juli und am 1. Januar wie 18910 zu 19556. Die Quadrate dieser Zahlen verhalten sich wie 1 zu 1,0695, und dies ist gerade auch das Verhältniß der in §. 26 bereits mitgetheilten täglichen Winkelgeschwindigkeiten an den genannten Tagen: daraus folgt also, daß die Winkelgeschwindigkeit, mit welcher sich die Erde, von der Sonne aus gesehen, fortbewegt, sich umgekehrt verhält wie das Quadrat der Entfernung beider Weltkörper.

Bezeichnen wir mit W_1 und W_f die von der Sonne aus gesehenen Winkelgeschwindigkeiten der Erde für die Entfernungen 1 und f, so ist demnach

$$W_f = \frac{W_1}{f^2} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (1).$$

Fig. 58.



Nun ist aber offenbar der Bogen TT', Fig. 58, welchen die Erde in einer gegebenen Zeit zurücklegt, dem Winkel TST' und der Entfernung TS proportional; bezeichnen wir also die den Entfernungen 1 und f entsprechenden Bogen mit B_1 und B_f, so haben wir:

$$B_1 = W_1 \quad . \; . \; . \; . \quad (2)$$

$$B_f = W_f . f \quad . \; . \; . \quad (3).$$

Setzen wir in Gleichung (3) den aus Gleichung (1) genommenen Werth von W_f, so kommt:

$$B_f = \frac{W_1}{f^2} \cdot f = \frac{W_1}{f}$$

oder, wenn man nach Gleichung (2) B_1 für W_1 setzt:

$$B_f = \frac{B_1}{f},$$

das heißt in Worten: die in gleichen Zeiten von der Erde in ihrer Bahn zurückgelegten Bogen verhalten sich umgekehrt wie die Entfernung der Erde von der Sonne.

Wenn sich aber die in gleichen Zeiten von der Erde beschriebenen Bogen TT' und tt', Fig. 58, umgekehrt verhalten wie die Entfernungen TS und tS so folgt, daß der Inhalt des Dreiecks TST' dem Inhalt des Dreiecks tSt' gleich ist.

Das obige Gesetz läßt sich demnach auch folgendermaßen aussprechen:

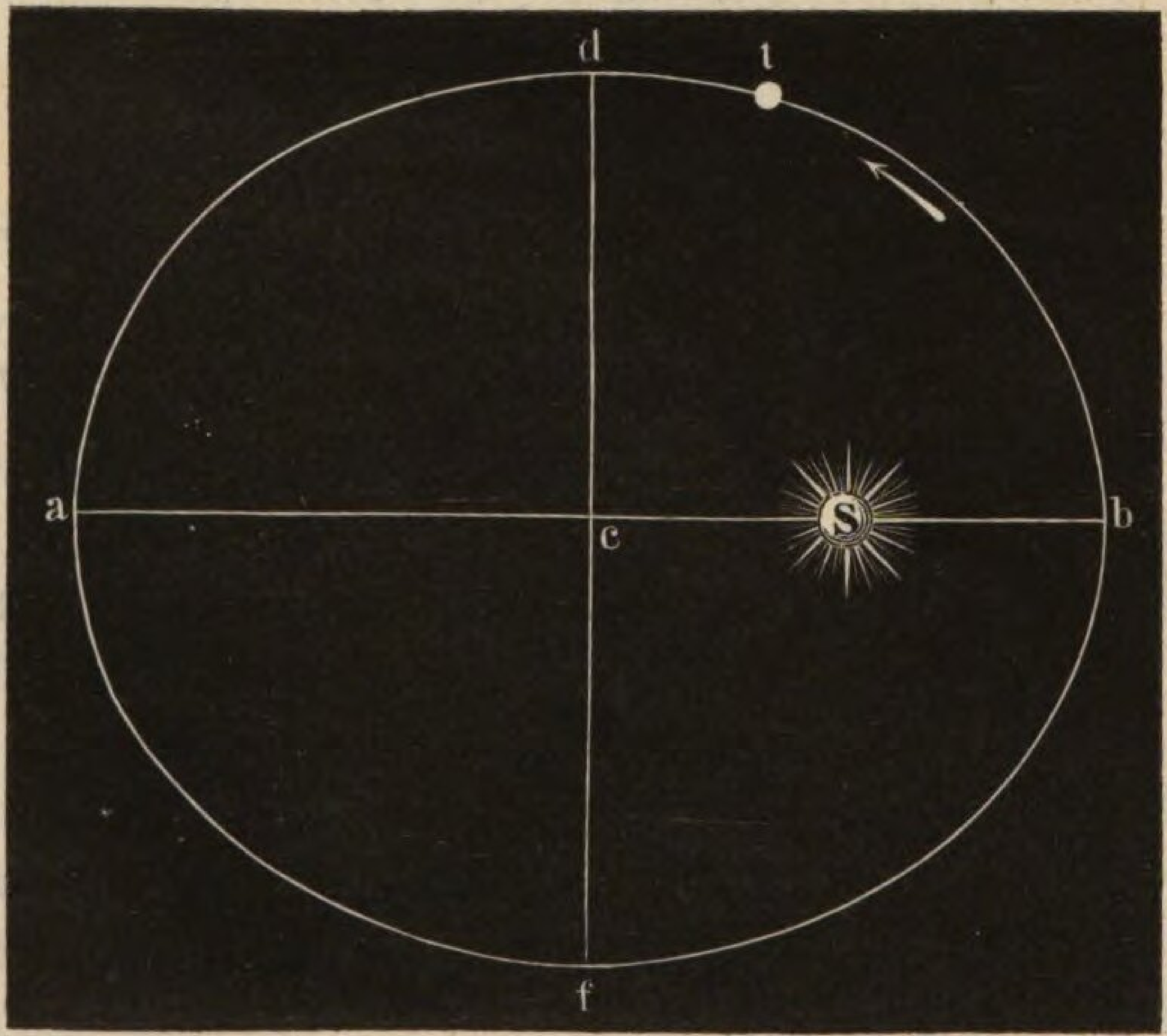
Die Geschwindigkeit, mit welcher die Erde in ihrer Bahn fortschreitet, ist von der Art, daß der Leitstrahl (**radius vector**), welchen man sich von der Sonne zur Erde gezogen denken kann, in gleichen Zeiten gleiche Flächenräume beschreibt.

Dieses Gesetz der Geschwindigkeiten, welches unter dem Namen des ersten Kepler'schen Gesetzes bekannt ist, gilt, wie wir im nächsten Capitel sehen werden, in gleicher Weise auch für alle übrigen um die Sonne kreisenden Planeten.

Nach dem zweiten Kepler'schen Gesetze ist die Bahn aller Planeten, folglich auch die Bahn der Erde, welche durch Copernicus unter die Planeten eingereiht worden ist, kein Kreis, sondern eine Ellipse, und die Sonne befindet sich in dem einen Brennpunkte derselben.

Die große Axe ab, Fig. 59, dieser Ellipse führt den Namen der Absidenlinie; die Entfernung der Sonne von dem Mittelpunkte c ist die Excentricität der Erdbahn; sie beträgt ungefähr $^1/_{60}$ der halben großen Axe ca, und daraus folgt, daß die Ellipse, welche die Erde innerhalb eines Jahres durchläuft, sehr wenig von der Kreisgestalt abweicht. In unserer Figur ist die Excentricität viel zu groß genommen, damit die elliptische Gestalt deutlicher hervortrete. Die kleine Axe df der Erdbahn verhält sich zur großen Axe ab wie 0,99986 zu 1.

Fig. 59.



Wenn sich die Erde in

b, dem einen Endpunkte der großen Axe, befindet, so ist sie in der Sonnennähe, im Perihelium; ihre größte Entfernung von der Sonne erreicht sie im anderen Endpunkte *a* der großen Axe; hier ist die Erde in der Sonnenferne, im Aphelium.

Am 1. Januar ist die Sonne im Perihelium, am 1 Juli ist sie im Aphelium.

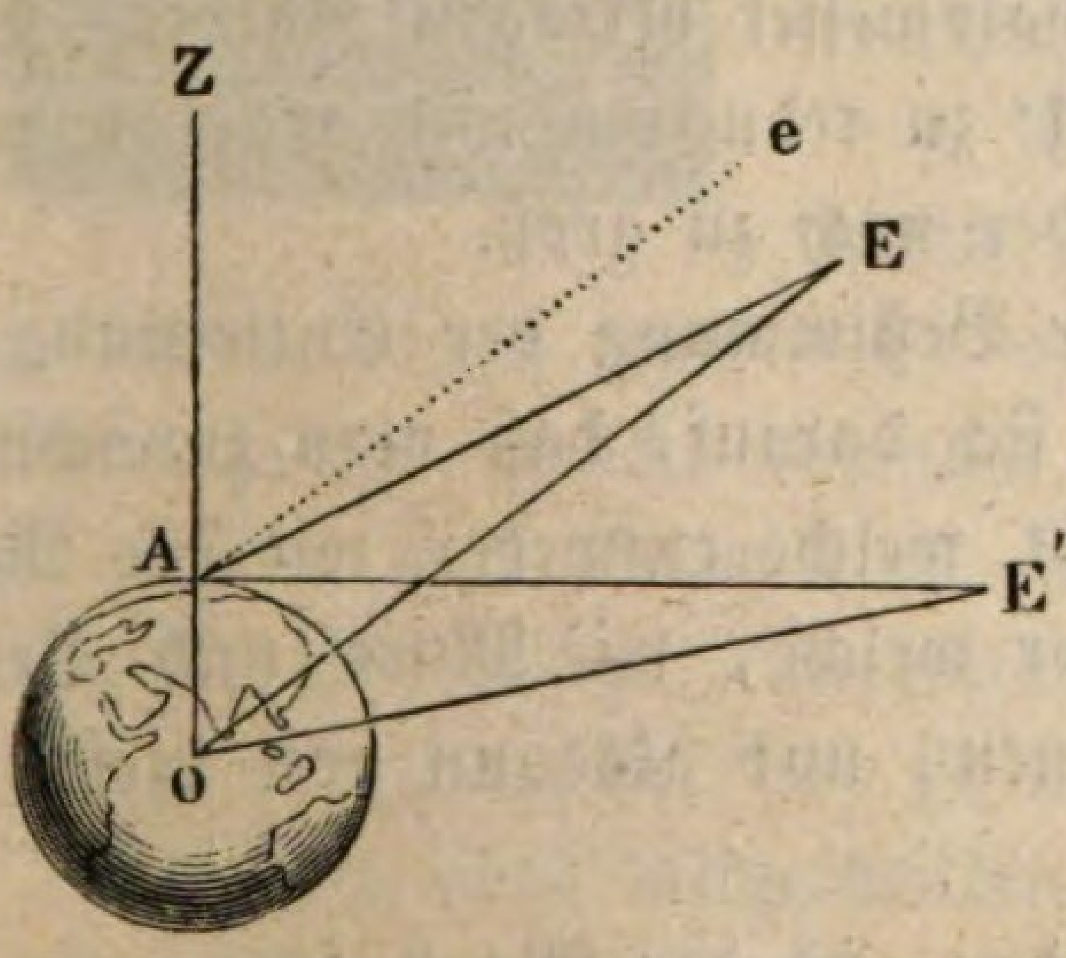
Die Absidenlinie macht einen Winkel von ungefähr 10 Grad mit der geraden Linie, welche den Frühlingspunkt mit dem Herbstpunkte verbindet.

Im Perihelium ist die fortschreitende Bewegung der Erde in ihrer Bahn am schnellsten, im Aphelium ist sie am langsamsten.

Entfernung der Sonne von der Erde. Wir haben bisher nur 42
das Verhältniß betrachtet, in welchem die Entfernung der Sonne von der Erde im Laufe eines Jahres sich ändert, ohne daß von der absoluten Größe dieser Entfernung die Rede gewesen wäre.

Zur Bestimmung der Entfernung eines Gestirnes von der Erde werden dieselben Grundsätze in Anwendung gebracht, welche man auch anwendet, um die Entfernung eines unzugänglichen Punktes auf der Erde zu ermitteln. — Wenn man von einem Punkte *A* der Erdoberfläche aus ein Gestirn *E*, Fig. 60, beobachtet, so sieht man es nicht genau in derselben Richtung, als wenn man sich im Mittelpunkte *O* der Erde befände; *OE* oder die damit parallele Linie *Ae* macht einen kleineren Winkel mit der Verticalen *OAZ* als die Visirlinie *AE*. Der Winkel *eAE* oder der ihm gleiche Winkel *AEO* wird nun die Parallaxe des Gestirnes *E* genannt. Die Parallaxe ist also nichts Anderes als der Winkel, um welchen sich die Zenithdistanz des Gestirnes vermindern würde, wenn man vom Beobachtungsorte *A* zum Mittelpunkte der Erde herabsteigen und von dort aus das Gestirn *E* beobachten könnte.

Fig. 60.



Die Parallaxe eines Gestirnes wird ein Maximum sein, wenn sich dasselbe in der Horizontalebene des Beobachtungsortes *A* befindet, wie *E'*. In diesem Falle wird die Parallaxe mit dem Namen der Horizontalparallaxe bezeichnet. Die Horizontalparallaxe eines Gestirnes ist der Winkel, unter welchem der Halbmesser der Erde, von jenem Gestirn aus gesehen, erscheint.

Ist der Durchmesser der Erde und die Horizontalparallaxe eines Gestirnes bekannt, so kann man daraus die Entfernung desselben von der Erde berechnen.

Da der Mittelpunkt der Erde unzugänglich ist, so kann die Horizontal-

parallaxe auch nicht unmittelbar gemessen werden. Um sie zu finden, muß man gleichzeitig die Zenithdistanz des Gestirnes mit großer Genauigkeit an zwei Orten der Erde messen, welche bei nahe gleicher geographischer Länge möglichst weit von einander entfernt sind. Aus diesen Messungen läßt sich dann, wie wir bald sehen werden, die Horizontalparallaxe ableiten.

Je weiter ein Gestirn von der Erde entfernt ist, desto kleiner wird seine Parallaxe, und desto schwieriger wird es, sie mit hinreichender Genauigkeit zu bestimmen, weil alsdann die unvermeidlichen Beobachtungsfehler einen viel zu bedeutenden Bruchtheil des gesuchten Werthes ausmachen und die geringste Verschiedenheit im Werthe der Horizontalparallaxe schon enorme Veränderungen im Werthe der Entfernung des Gestirnes nach sich zieht. Die Parallaxe der Sonne ist schon viel zu klein, als daß man sie auf dem angedeuteten Wege mit einer Genauigkeit ermitteln könnte, welche auch nur eine angenähert richtige Bestimmung der Entfernung der Sonne von der Erde zuließe; nur auf indirectem Wege läßt sich diese für die Astronomie so wichtige Größe mit hinreichender Genauigkeit bestimmen, und daher kommt es denn auch, daß man noch bis in die Mitte des vorigen Jahrhunderts ganz unrichtige Vorstellungen von der Entfernung der Sonne hatte.

Man nahm diese Entfernung früher stets zu klein an. Nach **Pythagoras** sollte die Sonne 16- bis 18000 Meilen von der Erde entfernt sein. **Aristarch von Samos** bestimmte die Horizontalparallaxe der Sonne zu 3′, wonach ihre Entfernung von der Erde 1146 Erdhalbmesser betragen würde. **Kepler** war geneigt, die fragliche Parallaxe auf 1′ zu reduciren und **Halley** nahm sie nur zu 25″. Alle diese Werthe waren aber noch zu groß.

Was nun die indirecten Methoden zur Bestimmung der Entfernung der Sonne von der Erde betrifft, so gründen sie sich darauf, daß man zunächst die Entfernung solcher Gestirne zu bestimmen sucht, welche entweder, wie der Mond, der Erde stets näher sind als die Sonne, oder welche, wie Mars und Venus, wenigstens in gewissen Zeiten ihr näher kommen, und alsdann von diesen auf die Entfernung der Sonne schließt.

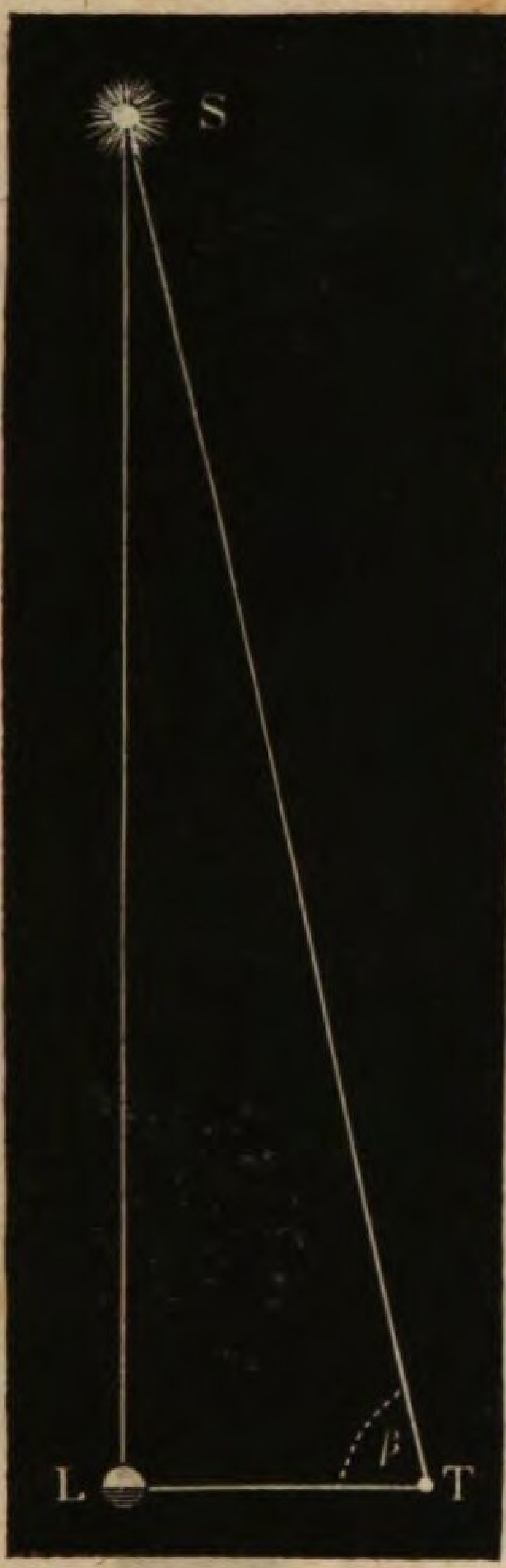
Wie wir im fünften Capitel sehen werden, ist der Mond sehr nahe um 60 Erdhalbmesser von dem Mittelpunkte der Erde entfernt. Wenn man nun in dem Moment, in welchem der Mond gerade das erste oder letzte Viertel zeigt, wo also die Gränze zwischen dem erleuchteten und dem dunklen Theile des Mondes genau eine gerade Linie bildet, den Winkelabstand zwischen Sonne und Mond mißt, so hat man damit die nöthigen Data, um die Entfernung der Sonne von der Erde zu berechnen. In Fig. 61 sei T die Erde, L der Mond, S die Sonne. In dem besprochenen Zeitpunkte steht die Linie SL rechtwinklig auf LT; da man nun den Winkel STL, den wir mit β bezeichnen wollen, gemessen hat, so ergiebt sich

$$TS = \frac{LT}{cos.\beta}.$$

Auf diesem Wege hat in der That **Riccioli** die Entfernung der Sonne von der Erde annähernd genau bestimmt; einer größeren Schärfe ist jedoch diese

Methode nicht fähig, weil man nicht mit großer Genauigkeit den Augenblick ermitteln kann, wo jene Lichtgränze des Mondes eine gerade Linie ist.

Fig. 61.



Hat man die Horizontalparallaxe des Mars oder der Venus zur Zeit ihrer Erdnähe ermittelt, so kann man aus ihnen mit Hülfe der Kepler'schen Gesetze, die wir im nächsten Capitel besprechen werden, auf die Horizontalparallaxe der Sonne schließen. So bestimmte Lacaille in der Mitte des vorigen Jahrhunderts die Horizontalparallaxe der Sonne zu 10″, von dem Werthe ausgehend, den er für die Parallaxe des Mars gefunden hatte.

Der Vorübergang der Venus vor der Sonnenscheibe bietet endlich ein Mittel, die Entfernung der Sonne mit großer Genauigkeit zu bestimmen, wie dies im vierten Capitel näher besprochen werden soll. Solche Durchgänge der Venus finden aber nur selten Statt; der letzte war 1769, der nächste wird 1874 sein.

Nach den Beobachtungen des Venusdurchganges vom Jahre 1769 hat man die Horizontalparallaxe der Sonne gleich 8,6″ gefunden, ein Werth, welcher wohl bis auf $\frac{1}{4}$ Secunde genau ist.

Die Parallaxe der Sonne ändert sich natürlich, wenn sie sich von der Erde entfernt oder sich ihr nähert. Der Werth von 8,6″ entspricht der mittleren Entfernung der Erde von der Sonne, welche demnach gleich 23984 Erdhalbmessern ist. In runder Zahl wollen wir die mittlere Entfernung der Sonne von der Erde gleich 24000 Erdhalbmessern annehmen, da die Differenz zwischen dieser und der obigen Zahl so gering ist, daß sie innerhalb der Gränze Beobachtungsfehler liegt.

Aus dem oben mitgetheilten Werthe der Excentricität der Erdbahn ergiebt sich dann, daß die Entfernung der Erde von der Sonne im Perihelium 23600, im Aphelium aber 24400 Erdhalbmesser beträgt.

Da der Erdhalbmesser gleich 860 geographischen Meilen ist (Seite 53), so beträgt demnach die mittlere Entfernung der Sonne von der Erde in runder Zahl 20 Millionen geographische Meilen.

Um diesen Raum zu durchlaufen, würde eine Kanonenkugel (1000′ Geschwindigkeit in der Secunde) eine Zeit von 12 Jahren brauchen.

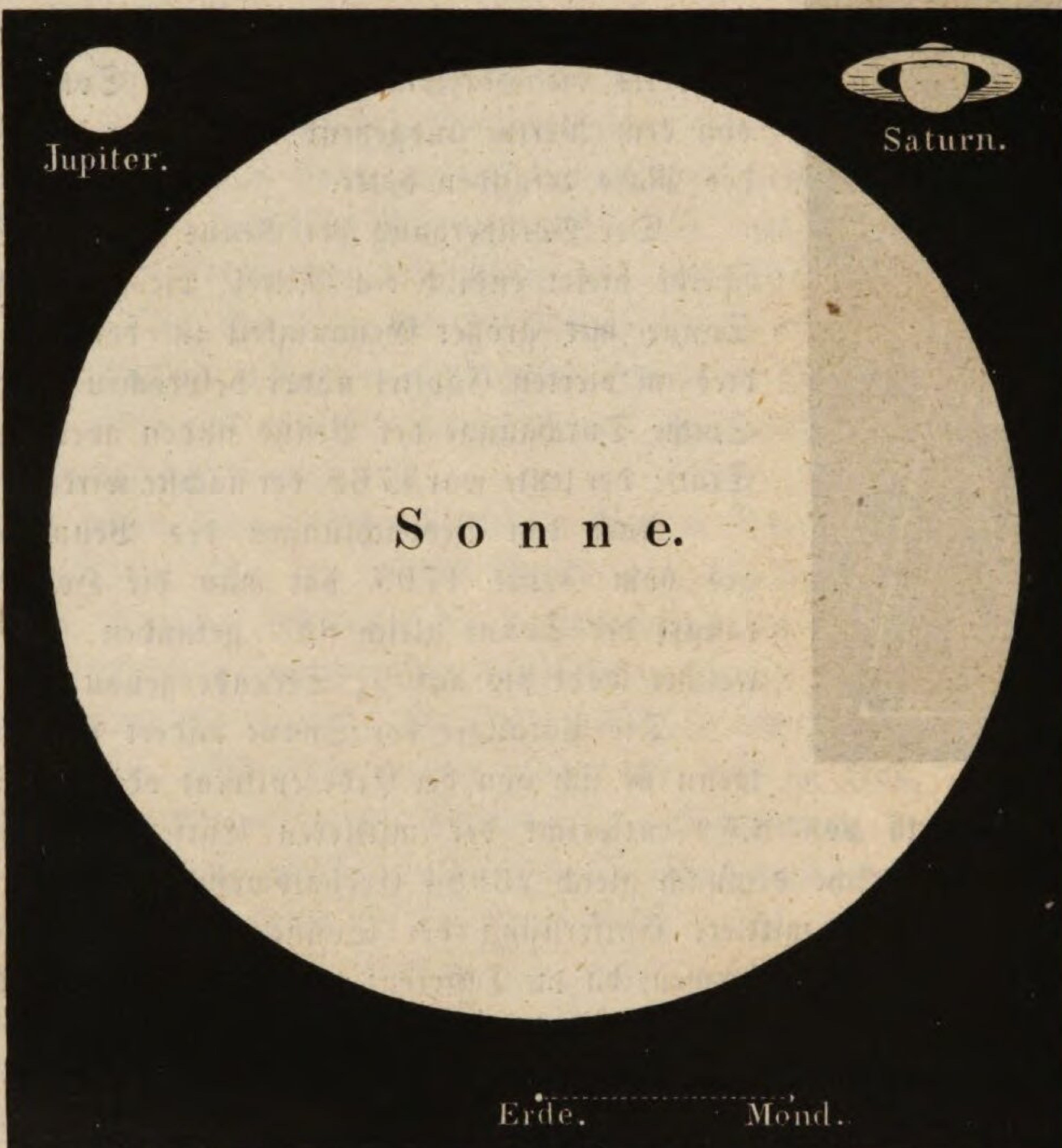
Dimensionen der Sonne. Nach §. 37 erscheint uns der Durchmesser 43
der Sonne, wenn sie sich in ihrer mittleren Entfernung von der Erde befindet, unter einem Winkel von 32′ 3,3″ oder 1923,3″, während umgekehrt, dem vorigen Paragraphen zufolge, die Erde von der Sonne aus gesehen, nur unter einem Winkel von 17,2″ erscheint. Der Durchmesser der Sonne ist demnach $\frac{1923,3}{17,2}$, also 112 mal so groß als der Durchmesser der Erde.

Daraus folgt dann weiter, daß der körperliche Inhalt der Sonne 1 404 928mal größer ist, als das Volumen der Erde.

Der Durchmesser der Sonne beträgt 190000, der Umfang derselben nahezu 580000 geographische Meilen.

Die Fig. 62 dient dazu, eine Vorstellung von dem Größenverhältniß der Sonne und der Erde zu geben. Unterhalb des großen weißen Kreises, welcher

Fig. 62.



die Sonne darstellt, befindet sich ein ganz kleiner weißer Kreis, welcher die Erde im richtigen Verhältniß zur Sonne darstellt. Rechts von der Erde sieht man in verhältnißmäßiger Entfernung den Mond. Man sieht, daß eine Kugel, deren Halbmesser die Entfernung des Mondes von der Erde ist, kaum mehr als den halben Radius der Sonne haben würde. Wenn also die Sonne hohl wäre und die Erde sich in ihrem Mittelpunkte befände, so könnte der Mond in seiner jetzigen Entfernung von der Erde noch um dieselbe kreisen, und würde doch der äußeren Sonnenhülle nur unbedeutend näher sein als ihrem Mittelpunkte.

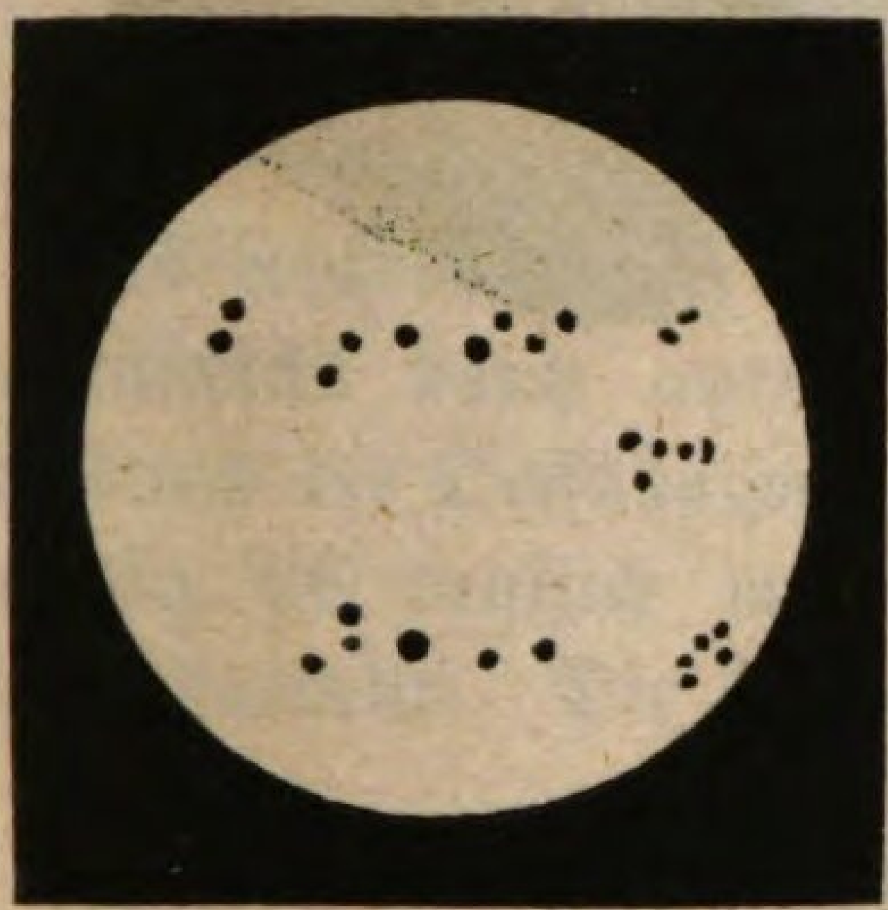
Die Mittelpunkte der beiden Kreise, welche in Fig. 62 Sonne und Erde im richtigen Größenverhältniß darstellen, müßten in eine Entfernung von 16,5 Metern gebracht werden, wenn diese Entfernung sich zu dem Durchmesser der

Sonne ebenso verhalten sollte wie die Entfernung der Erde von der Sonne zum Durchmesser der Sonne.

Im oberen Eck der Fig. 62 sieht man noch im richtigen Größenverhältniß die Planeten Jupiter und Saturn dargestellt, von welchen später die Rede sein wird.

Sonnenflecken. Wenn man die Sonne durch ein Fernrohr betrachtet wobei man aber ihres starken Glanzes wegen ein sehr dunkelfarbiges Glas (Blendglas, Sonnenglas) vor das Ocular bringen muß, so bemerkt man auf ihrer Oberfläche bald mehr, bald weniger dunkle Flecken, ungefähr in der Art, wie es Fig. 63 zeigt. Wenn man die Beobachtung nach einigen Tagen wiederholt, so ergiebt sich, daß sie auf der Sonnenscheibe eine fortschreitende Bewegung von Ost nach West haben. Nachdem sie in der angegebenen Richtung die ganze Sonnenscheibe durchlaufen haben, verschwinden sie am westlichen Rande, um nach einigen Tagen auf der Ostseite wieder zu erscheinen. 44

Fig. 63.



Diese Bewegung der Sonnenflecken deutet auf eine Rotation der Sonne, und in der That hat sich aus sorgfältigen und vielfach wiederholten Beobachtungen derselben ergeben, daß sich die Sonne in 27,3 Tagen um ihre Axe dreht und daß der Sonnenäquator einen Winkel von 7° 9′ mit der Ebene der Ekliptik macht.

Die Sonnenflecken sind im Allgemeinen sehr veränderlicher Natur; bald sind sie zahlreicher und größer, dann wieder seltener und kleiner; manchmal ist die Sonne ganz fleckenfrei. — Bald sieht man neue Flecken entstehen und allmälig größer werden, dann dieselben wieder abnehmen und allmälig verschwinden; ebenso zeigen sie stets mehr oder weniger bedeutende Formveränderungen.

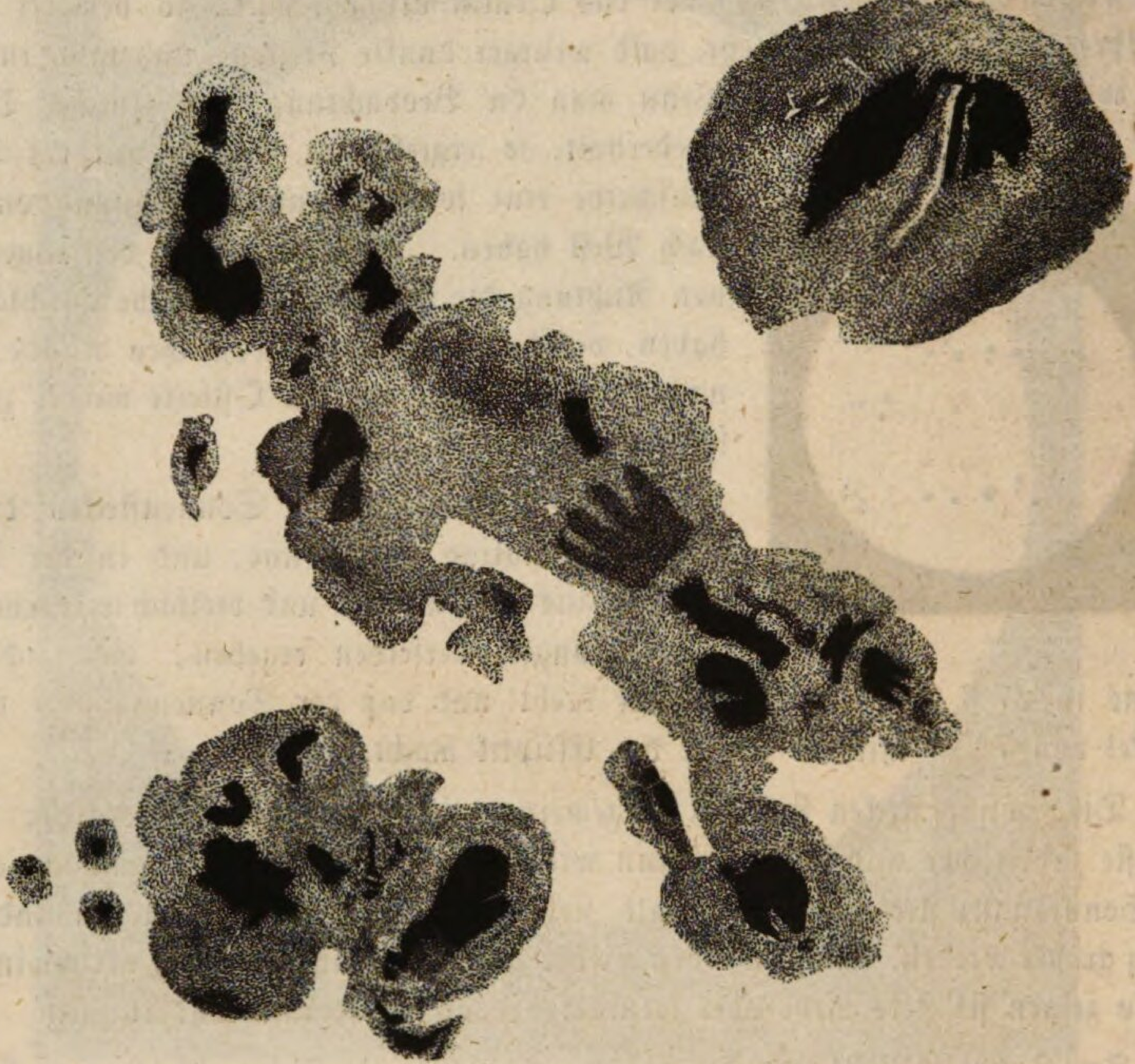
Im Jahre 1833 war die Sonne an 139, im Jahre 1843 war sie an 149 Tagen fleckenlos und es zeigten sich in diesen Jahren überhaupt, wie auch im Jahre 1834 die Flecken nur wenig zahlreich; während in den Jahren 1828 und 1829, ferner 1838 und 1839 die Sonne sehr viele Flecken zeigte und im Laufe dieser Jahre nie ohne Flecken gesehen wurde. Im Jahre 1828 erschien sogar ein mit bloßem Auge sichtbarer Fleck. In der Ab- und Zunahme der Flecken scheint eine Periodicität von beiläufig 10 Jahren stattzufinden. In der That zeigte die Sonne in den Jahren 1853 und 1854 wieder wenig Flecken.

Man vermuthete, daß die größere oder geringere Häufigkeit der Sonnenflecken einen Einfluß auf unsere Witterungsverhältnisse ausüben müsse, daß fleckenreichere Jahre kühler sein müßten; die Erfahrung scheint eine solche Annahme nicht zu bestätigen.

Bei genauerer Betrachtung der Sonnenflecken erkennt man, daß der eigentliche ganz dunkle Kern derselben gleichsam mit einem Halbschatten umgeben ist, welcher den Namen der Penumbra führt.

Die Contouren des Kerns sowohl wie der Penumbra sind unregelmäßig gestaltet und meist liegen mehrere Kerne in einer gemeinschaftlichen Penumbra, wie Fig. 64 zeigt, welche eine getreue Darstellung wirklich beobachteter Sonnenflecken ist.

Fig. 64.



Durch ein farbiges Sonnenglas kann man natürlich die wahre Farbe der Sonnenflecken nicht sehen; um diese zu erkennen, erzeugte Busolt mittelst eines 6füßigen Fernrohres ein Sonnenbild auf weißem Papier oder auf einer Scheibe von feinem Gyps, welche auf eine Spiegelplatte war gegossen worden. Die Sonnenscheibe selbst erschien nun farblos, aber durchweg hellviolett gesprenkelt. Die Flecken bestanden aus dunkelvioletten Kernen, welche mit einem prächtig gelben Hofe umgeben waren.

In der Nähe der Flecken zeigen sich häufig Stellen, welche heller sind als der übrige Theil der Sonnenscheibe und welche man Sonnenfackeln nennt.

Wenn ein Sonnenflecken in die Nähe des westlichen Sonnenrandes gelangt, so verschwindet die Penumbra zuerst auf der östlichen Seite des Fleckens,

wie dies Fig. 65 angedeutet ist, wo *abc* ein Stück des westlichen Sonnenrandes darstellt. Dieser Umstand beweist, daß die Flecken sich nicht auf der Oberfläche der Sonne befinden, sondern daß sie einer tiefer liegenden Schicht angehören, und so haben denn die Sonnenflecken zu der folgenden, besonders von Herschel ausgebildeten Ansicht über die Constitution der Sonne geführt:

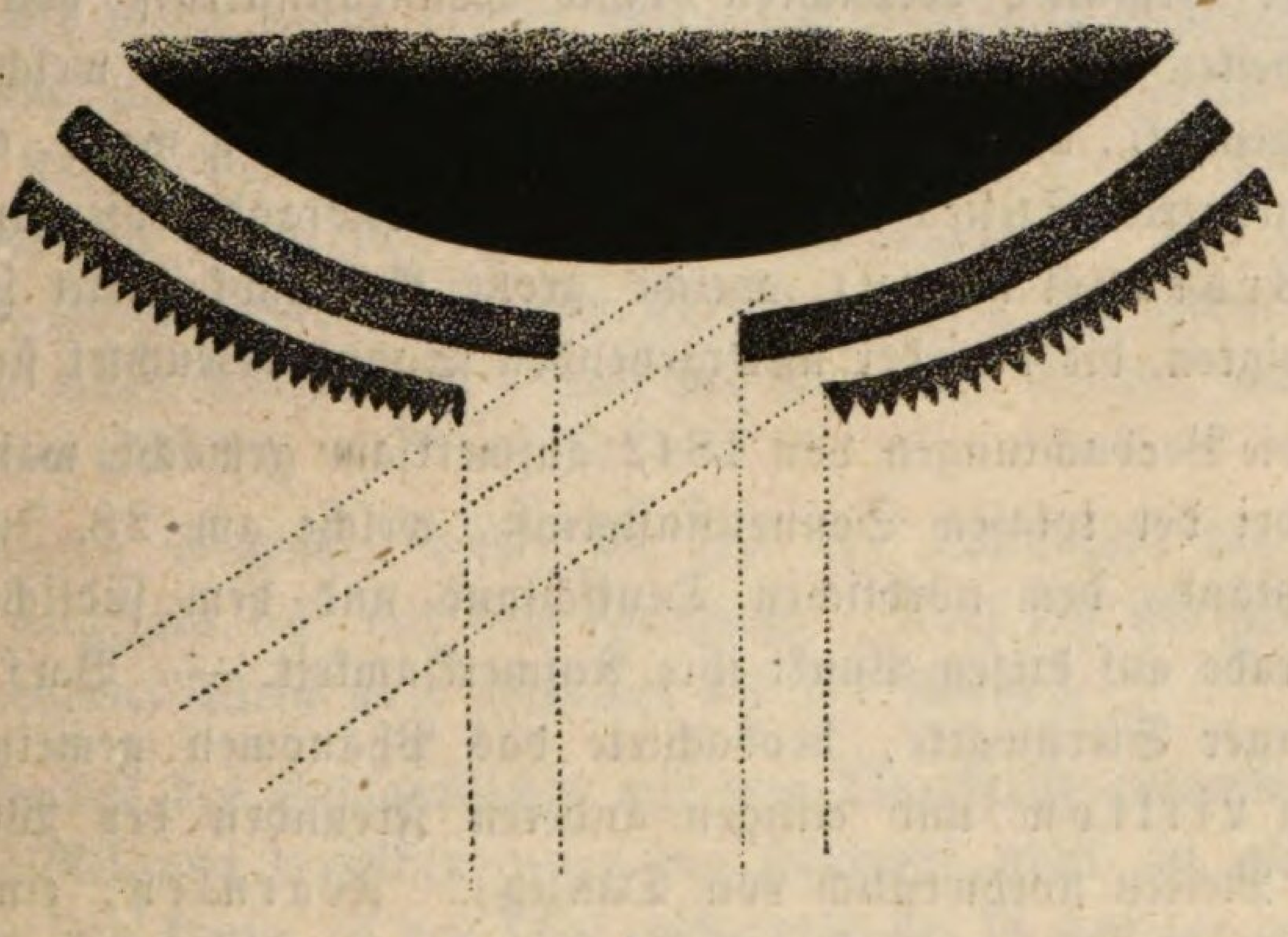
Fig. 65.



Der eigentliche Kern der Sonne ist eine dunkle Kugel, welche ringsum von einer Gasatmosphäre umgeben ist. In dieser Atmosphäre schweben nun zwei wolkenartige Schichten, von denen die äußere stark leuchtende die Photosphäre genannt wird. Die innere Wolkenschicht dagegen ist entweder nur schwach leuchtend oder vielleicht auch nur durch die äußere erleuchtet.

Es erscheinen nun Sonnenflecken, so oft die Photosphäre und die untere Wolkenschicht durch irgend eine unbekannte Ursache durchbrochen werden und man durch die Oeffnungen auf den dunklen Kern der Sonne hinabsehen kann, wie Fig. 66 deutlich macht, welche ein Stück des idealen Durchschnitts der Sonne darstellt. Die Penumbra erscheint da, wo man durch die Photosphäre

Fig. 66.



auf die innere Wolkenhülle sehen kann, während die ganz dunklen Kerne der Flecken nur da gesehen werden, wo man durch die Oeffnungen beider Hüllen hindurch den dunklen Centralkörper erblickt. Der Anblick der Figur zeigt auch, wie es komme, daß man, schräg in die Oeffnungen hineinblickend, wie es der Fall ist, wenn sich die Flecken nahe am Rande der Sonne befinden, nur auf der einen Seite, nämlich gegen den Rand hin, die Penumbra sieht. Der Abstand der Photosphäre von dem dunklen Sonnenkerne beträgt 300 bis 500 Meilen. Da man Sonnenflecken von $1\frac{1}{2}$ bis 2 Minuten scheinbarem Durchmesser beobachtet

hat, so folgt, daß ihr wahrer Durchmesser bis auf 10000 Meilen und darüber steigen kann.

So wie nun die Photosphäre an einzelnen Stellen ganz durchbrochen wird, so muß auch an anderen Stellen und namentlich in der Nähe der Flecken eine größere Anhäufung der leuchtenden Masse stattfinden, und so erklären sich die Sonnenfackeln.

Die Sonnenflecken wurden zum ersten Male von Johann Fabricius im Jahre 1611 beobachtet; Galiläi entdeckte sie im Jahre 1612. Scheiner wandte zu ihrer Beobachtung zuerst die bereits von Apian empfohlenen Blendgläser an, deren Nichtgebrauch wohl vorzugsweise Galiläi's Erblindung veranlaßte.

45 **Die Sonnenatmosphäre.** Wenn während einer totalen Sonnenfinsterniß die eigentliche Sonnenscheibe vollständig durch den Mond verdeckt ist, so erscheint die dunkle Mondscheibe von einem Strahlenkranze umgeben, welcher sich etwa einer Glorie (dem sogenannten Heiligenscheine) vergleichen läßt. Tab. VI. kann eine Vorstellung von dieser merkwürdigen Erscheinung geben, welche darauf hindeutet, daß sich die Sonnenatmosphäre auch noch über die Photosphäre hinaus erstreckt. Diese entweder selbst nur schwach leuchtende oder auch nur von der Photosphäre erleuchtete Atmosphäre ist es nun, welche höchst wahrscheinlich die Erscheinung der erwähnten Strahlenkränze veranlaßt.

Die sehr sorgfältig beobachtete totale Sonnenfinsterniß von 1842 lehrte noch Einzelnheiten dieser merkwürdigen Erscheinung kennen, welche wohl auch früher schon bemerkt, aber nicht genügend beachtet worden war; es zeigten sich nämlich an mehreren Stellen an dem dunklen Mondrande rosenfarbene Hervorragungen (Protuberanzen), welche große Aehnlichkeit mit schneebedeckten Bergspitzen zeigten, die von der untergehenden Sonne beleuchtet sind.

Durch die Beobachtungen von 1842 aufmerksam gemacht, wandten mehrere Astronomen bei der totalen Sonnenfinsterniß, welche am 28. Juli 1851 im mittleren Rußland, dem nördlichen Deutschland und dem südlichen Schweden stattfand, gerade auf diesen Punkt ihre Aufmerksamkeit. — Busch, Director der Königsberger Sternwarte, beobachtete das Phänomen gemeinschaftlich mit dem jüngeren Littrow und einigen anderen Freunden der Wissenschaft zu Rixhöft (7 Meilen nordwestlich von Danzig). Fearnley, einer der Beobachter von Rixhöft, hat nach seinen Beobachtungen eine Zeichnung entworfen, welche nach dem Zeugniß von Busch die Erscheinung sehr treu darstellt. Tab. VI. ist eine Copie dieser Abbildung. An zwei Stellen, bei *a* und bei *b*, zeigten sich blaßrothe kegel- oder pinselförmige Lichtbüschel, während die eigenthümlich gestalteten Protuberanzen bei *c* einen entschieden wolkenartigen Charakter zeigten. Diese durch Form und Größe ausgezeichnete Protuberanz trat aber gerade an einer Stelle hervor, in deren Nähe man vorher auf der Sonne eine große Fleckengruppe, in deren Umgebung sich starke Sonnenfackeln befanden, beobachtet hatte.

Eine ähnliche Beobachtung war auch bei Gelegenheit einer im Jahre 1850 auf der Südsee sichtbaren Sonnenfinsterniß gemacht worden.

Dieser Zusammenhang zwischen Sonnenflecken und den erwähnten Protuberanzen deutet nun darauf hin, daß, wenn durch irgend unbekannte Kräfte die innere Wolkenhülle der Sonne und die Photosphäre durchbrochen werden, wolkenartige Massen noch in die über die Photosphäre hinausgehende Sonnenatmosphäre hinausgetrieben werden.

Daß die Erscheinung des Strahlenkranzes von einem zum Sonnenkörper selbst gehörigen Stoffe herrühre, geht auch aus einer gleichfalls von Busch gemachten Beobachtung hervor, daß während der Dauer der totalen Finsterniß die Protuberanzen auf der Ostseite fortwährend kleiner werden, indem der Mondrand sie mehr und mehr zudeckt, während umgekehrt die Protuberanzen auf der Westseite mehr und mehr hinter dem Mondrande hervorzusteigen scheinen. Dasselbe bestätigt auch Struve, welcher durch genaue Messungen dargethan hat, daß das Fortrücken des Mondrandes gegen die Protuberanzen der Geschwindigkeit entsprach, mit welcher der Mond sich über die Sonnenscheibe fortbewegte.

Das Zodiacallicht. Um die Zeit der Tag- und Nachtgleichen erscheint 46
manchmal kurz nach Sonnenuntergang am westlichen Horizonte ein schwacher Lichtstreifen, meist noch matter als das Licht der Milchstraße, welcher die Form einer schief auf dem Horizont stehenden Pyramide hat.

Die Basis dieses unten breiter werdenden Lichtkegels erscheint ungefähr da, wo die Sonne untergegangen ist; die Axe desselben ist gegen die Stelle hin gerichtet, an welcher sich eben die schon untergegangene Sonne befindet; sie fällt fast ganz mit der Ebene des Sonnenäquators zusammen, der ganze Streifen fällt also am Himmel nahezu in den Thierkreis, da die Ebene des Sonnenäquators nur einen Winkel von 7° mit der Ebene der Ekliptik macht; daher der Name Zodiacallicht.

In unseren Gegenden bildet die Axe des Lichtkegels des Abends einen Winkel von ungefähr 64° mit dem Horizont. Auch des Morgens ist er schon beobachtet worden, allein weit schwächer als des Abends.

Da die Axe des Zodiacallichts mit dem Thierkreise zusammenfällt, so ist klar, daß die Neigung derselben gegen den Horizont nicht an allen Orten der Erde dieselbe sein kann; in der That erscheint es um so weniger geneigt, je mehr man sich dem Aequator nähert; innerhalb der Tropen, wo es weit häufiger als in höheren Breiten und weit leuchtender und schöner beobachtet wird, so daß es Humboldt einen beständigen Schmuck der Tropennächte nennt, steht es fast senkrecht auf dem Horizont. Auf der nördlichen Halbkugel erscheint dem Beobachter die Spitze nach Süden gerichtet, also links von der Basis; auf der südlichen Halbkugel erscheint aber die ganze Pyramide nach Norden, also nach der rechten Seite des Beobachters hin geneigt.

Da das Zodiacallicht in unseren Gegenden zu den selteneren Erscheinun-

gen gehört, so ist eine Abbildung durchaus nöthig, um eine klare Vorstellung dieser eigenthümlichen Erscheinung zu geben. Fig. 67 stellt eine von Horner mitgetheilte Zeichnung eines Zodiacallichts dar, welches dieser Gelehrte zu Santa Cruz an der Küste von Brasilien ungefähr 27° s. B. beobachtete.

Fig. 67.



Was die Erklärung des Zodiacallichts betrifft, so sind bis jetzt zweierlei Meinungen darüber aufgestellt worden; nach Mairan's Erklärung ist das Zodiacallicht die Atmosphäre der Sonne, welche entweder selbstleuchtend ist, oder von der Sonne erleuchtet wird; diese Atmosphäre ist wegen des schnellen Umschwungs der Sonne so stark abgeplattet, daß sie als ein in der Richtung des Sonnenäquators liegender Streifen erscheint; aus den Gesetzen der Gravitation läßt sich aber darthun, daß eine etwaige Sonnenatmosphäre sich nicht bis zur Mercursbahn erstrecken kann. Weit wahrscheinlicher ist dagegen die andere Ansicht, nach welcher die Erscheinung des Zodiacallichts einem um die Sonne herumliegenden Nebelringe zuzuschreiben ist.

Viertes Capitel.

Die Planeten.

Scheinbare Bewegung der Planeten. Außer der Sonne und dem 47
Monde giebt es noch andere Gestirne, welche im Ansehen den Fixsternen ähnlich sind, doch ihre Stellung unter denselben fortwährend ändern, und deshalb Wandelsterne oder Planeten genannt werden.

Den Alten waren diejenigen Planeten bekannt, welche mit bloßem Auge sichtbar sind. Es sind deren fünf: Mercur ☿, Venus ♀, Mars ♂, Jupiter ♃ und Saturn ♄.

Die Bahnen dieser älteren Planeten liegen der Sonnenbahn so nahe, daß sie sich nur um einige Grade nördlich oder südlich von der Ekliptik entfernen. Die Gestalt dieser Bahnen ist aber weit verwickelter als die der Sonnenbahn, wie man sich aus den Figuren 68, 69 und 70 überzeugen kann.

Fig. 68 (a. f. S.) stellt die Bahn der Venus im Jahre 1847 dar. Vom 1. Januar bis zum 5. September erscheint sie noch ziemlich einfach; die Venus bewegte sich während dieser Zeit wie die Sonne von West nach Ost und ihre Bahn ist der Sonnenbahn ziemlich ähnlich; dann aber bildet sie, eine Zeitlang sich in entgegengesetzter Richtung, d. h. von Ost nach West bewegend, eine förmliche Schleife.

Aehnliche Erscheinungen bieten alle Planeten. Im größten Theil ihrer Bahn bewegen sie sich von West nach Ost, sie sind dann rechtläufig, während eine kürzere Zeit hindurch ihre Bewegung die entgegengesetzte Richtung hat, d. h. rückläufig ist.

Bei dem kleinen Maßstabe der Fig. 68 ist natürlich keine große Genauigkeit möglich, deshalb ist ein Theil der Venusbahn des Jahres 1847, und zwar gerade derjenige, welcher die Schleife enthält, in Fig. 69 (auf Seite 109) in größerem Maßstabe dargestellt.

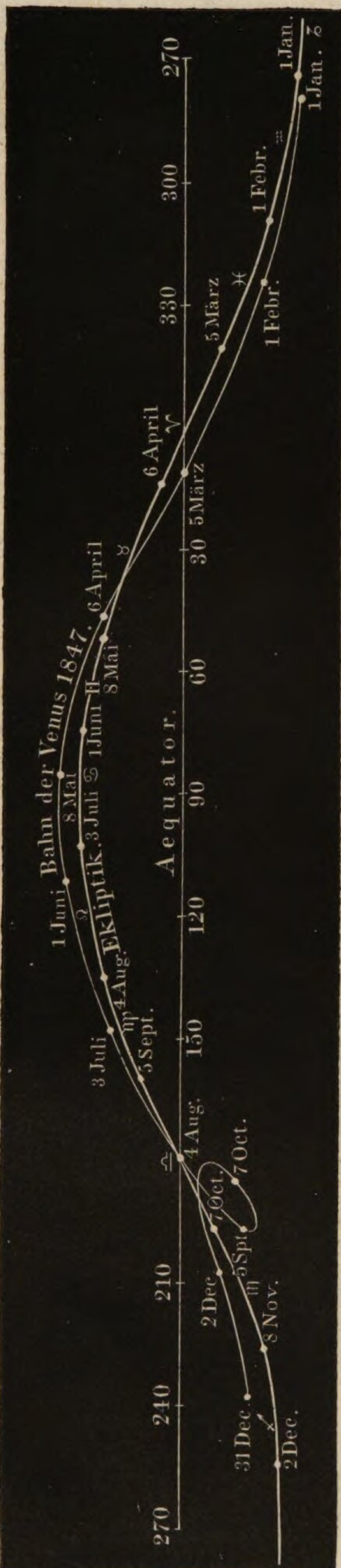


Fig. 68.

In Fig. 70 (auf Seite 111) findet man die Bahn des Saturn in den Jahren 1852 und 1853. Dieselbe Figur zeigt auch ein Stück der Mercursbahn von 1852.

Den Winkelabstand eines Planeten von der Sonne nennt man seine Elongation.

Ein Planet erscheint stationär zur Zeit, wo seine rechtläufige Bewegung in eine rückläufige, oder umgekehrt die rückläufige Bewegung wieder in die rechtläufige übergeht; denn in dieser Zeit sind die Ortsveränderungen der Planeten sehr unbedeutend.

Zwei der genannten Planeten, Mercur und Venus, entfernen sich nie weit von der Sonne. Für den Mercur ist die größte Elongation 22°, für die Venus kann sie bis auf 48° wachsen. Deshalb sind diese beiden, welche die unteren Planeten genannt werden, auch nur kurz vor Sonnenaufgang am östlichen, oder nach Sonnenuntergang am westlichen Himmel sichtbar.

Die übrigen Planeten, welche die oberen Planeten genannt werden, können sich dagegen um alle Winkeldistanzen von der Sonne entfernen.

Wenn ein Planet gleiche Rectascension mit der Sonne oder mit einem anderen Planeten hat, wenn sie also zusammen auf- und untergehen, so sagt man, sie seien in Conjunction, und bezeichnet dies durch ☌. Wenn man z. B. in einem astronomischen Jahrbuche findet, daß für den 10. Juli 1854 ♀ ☌ ♄, so heißt das, daß an dem genannten Tage Venus und Saturn in Conjunction sind, also (fast) gleichzeitig durch den Meridian gehen.

Wenn ein Planet um 90° von der Sonne absteht, so sagt man, er sei mit der Sonne in Quadratur, und

Fig. 69.


Bahn der Venus
vom 3ten Juli bis zum
2ten December 1847.
Ekliptik
Aequator.
3 Juli
20 Aug.
11 Juli
28 Aug.
5 Sept.
4 Aug.
8 Nov.
7 Oct.
5 Sept.
7 Oct
15 Oct.
2 Dec.
150
160
170
180
190
200
10
0
10

bezeichnet dies durch □. So ist z. B. für den 8. September 1854 ♄ □ ☉, d. h. an diesem Tage steht Saturn um 90° von der Sonne ab, die Differenz in der Culminationszeit der Sonne und des Saturn beträgt also 6 Stunden.

Wenn ein Planet um 180° von der Sonne absteht, so daß er um Mitternacht culminirt, so sagt man, daß er in Opposition sei, und bezeichnet dies durch ☍. Am 15. Juli 1854 ist ♃ ☍ ☉.

Nur die oberen Planeten können, dem oben Gesagten zufolge, mit der Sonne in Quadratur und in Opposition kommen; Mercur und Venus niemals. Dagegen unterscheidet man bei den unteren Planeten eine obere und eine untere Conjunction. Die erstere findet Statt, wenn der Planet von der Westseite der Sonne auf die Ostseite tritt; die untere Conjunction dagegen ist diejenige, wenn der Planet in der Richtung von Ost nach West fortschreitend die Sonne passirt.

Betrachten wir den Lauf der Planeten näher, so bemerken wir, daß die Abwechselung zwischen recht- und rückläufiger Bewegung in enger Beziehung zur Constellation der Planeten mit der Sonne stehe. Die rechtläufige Geschwindigkeit ist für die oberen Planeten zur Zeit der Conjunction, für die unteren zur Zeit der oberen Conjunction ein Maximum; dagegen ist die rückläufige Bewegung am schnellsten zur Zeit der Opposition bei den oberen, und der unteren Conjunction bei den unteren Planeten.

Die Bildung der Schleifen in den Planetenbahnen ist also an einen bestimmten Cyclus gebunden, sie wiederholt sich, so oft der Planet mit der Sonne in Opposition oder untere Conjunction kommt. Die Zeit von einer Opposition oder unteren Conjunction bis zur nächsten, also gewissermaßen ein scheinbarer Umlauf des Planeten in Beziehung auf die Sonne, wird die synodische Revolution oder die synodische Umlaufszeit genannt; sie hat für die einzelnen Planeten folgende Werthe:

Mercur . . .	115	Tage	21 Stunden,
Venus . . .	583	»	22 »
Mars . . .	780	»	0 »
Jupiter . . .	398	»	22 »
Saturn . . .	378	»	2 »

Ferner sehen wir, daß die Planetenbahnen theilweise nördlich, theilweise südlich von der Ekliptik liegen. Das Stück der Saturnsbahn, welches in Fig. 70 verzeichnet ist, liegt zwar ganz auf der Südseite der Sonnenbahn, allein er nähert sich derselben und wird im Laufe des Jahres 1857 auf die Nordseite derselben übergehen.

Die Punkte, in welchen eine Planetenbahn die Sonnenbahn schneidet, werden die Knoten genannt, und zwar ist der aufsteigende Knoten (☊) derjenige, in welchem der Planet von der Südseite der Ekliptik auf die Nordseite übertritt, während der Punkt, in welchem die bis dahin nördliche Breite des Planeten in eine südliche übergeht, mit dem Namen des niedersteigenden Knotens (☋) bezeichnet wird.

Die Zeit zwischen je zwei auf einander folgenden Durchgängen eines Pla-

Fig. 70.



Bahn des Saturn in den Jahren 1852 und 1853 und des Mercur vom 6. April bis zum 17. Juni 1852.

neten durch den aufsteigenden Knoten wird die siderische Umlaufszeit des Planeten genannt. Die folgende Tabelle enthält (jedoch nur bis auf Stunden genau) die siderische Umlaufszeit für die mit bloßem Auge sichtbaren Planeten:

Mercur		87 Tage	23 Stunden,
Venus		224 »	17 »
Mars	1 Jahr	321 »	22 »
Jupiter . . .	11 »	315 »	14 »
Saturn . . .	29 »	161 »	22 »

Im Laufe des Jahres 1855 wird Mercur den aufsteigenden Knoten passiren:

am 13. Februar, am 8. August,
am 12. Mai, am 4. November.

Die nächsten Durchgänge der Venus durch den aufsteigenden Knoten finden Statt:

am 1. April 1855,
am 12. November 1855,
am 23. Juni 1856 u. s. w.

Mars passirt den aufsteigenden Knoten:

am 29. Mai 1855,
am 14. April 1857.

Die letzten Durchgänge des Jupiter und des Saturn durch den aufsteigenden Knoten fanden Statt am 18. October 1847 und am 1. Juni 1828. Die nächsten werden stattfinden am 29. August 1859 und am 8. November 1857.

Die Knoten einer Planetenbahn fallen nicht immer auf dieselbe Stelle der Ekliptik, wohl aber liegt die Stelle, in welcher die Planetenbahn die Sonnenbahn schneidet, stets in der Nähe desjenigen Punktes, in welchem die vorige gleichgerichtete Durchschneidung stattfand. Die siderische Umlaufszeit giebt uns also wenigstens annäherungsweise auch die Zeit, welche der Planet braucht, um scheinbar das ganze Himmelsgewölbe zu umlaufen, und so giebt uns denn die siderische Umlaufszeit einen Anhaltspunkt, um zu beurtheilen, wie schnell sich im Allgemeinen die einzelnen Planeten am Himmel fortbewegen. Mercur braucht, um seinen Umlauf durch den ganzen Thierkreis zu vollenden, ungefähr 3 Monate; er verändert also seine Stellung am Himmel schneller als alle anderen Planeten. Die Geschwindigkeit der Ortsveränderung unter den Sternen nimmt in dem Maße ab, als die Umlaufszeit des Planeten größer wird. Jupiter schreitet im Laufe eines ganzen Jahres nur um ungefähr 30° unter den Gestirnen weiter, Saturn nur um 12°.

48 **Veränderlichkeit im Glanz und der Größe der Planeten.** Der Glanz der Planeten ist sehr veränderlich; am geringsten ist er stets zur Zeit der Conjunction, und bei den unteren Planeten zur Zeit der oberen Conjunction. Je mehr sich nun der Planet scheinbar von der Sonne entfernt, desto

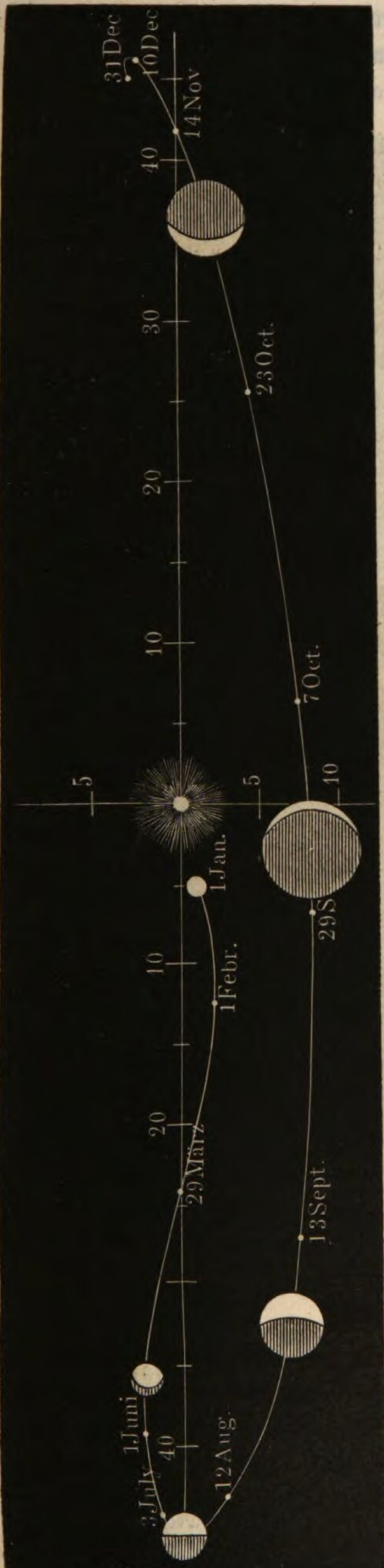


Fig. 71.

größer wird sein Glanz, welcher bei den oberen Planeten sein Maximum zur Zeit der Opposition erreicht.

Wenn die Venus nach der oberen Conjunction sich estwärts von der Sonne entfernt, so nimmt ihr Glanz fortwährend zu, bis sie ihre größte Elongation passirt und sich der Sonne wieder bis auf 40⁰ genähert hat. In dieser Stellung ist ihr Glanz ein Maximum; darauf nimmt er ab bis zur unteren Conjunction, und wächst dann wieder, bis die Venus sich um 40⁰ auf der Westseite von der Sonne entfernt hat, wo dann der Glanz abermals ein Maximum wird.

Aehnlich sind die Variationen im Glanze des Mercur, welcher aber überhaupt schwer sichtbar ist, weil er immer sehr nahe bei der Sonne bleibt.

Diese Veränderungen des Glanzes hängen mit den Variationen der scheinbaren Durchmesser der Planeten zusammen. Der Winkel, unter welchem die verschiedenen Planeten erscheinen, ist folgender:

	Zur Zeit der oberen Conjunct.	unteren Conjunct.
Mercur	. 4″	12″
Venus	. 9,3	64
	Conjunction	Opposition
Mars . .	4″	27″
Jupiter	. 30	49
Saturn	. 15	21

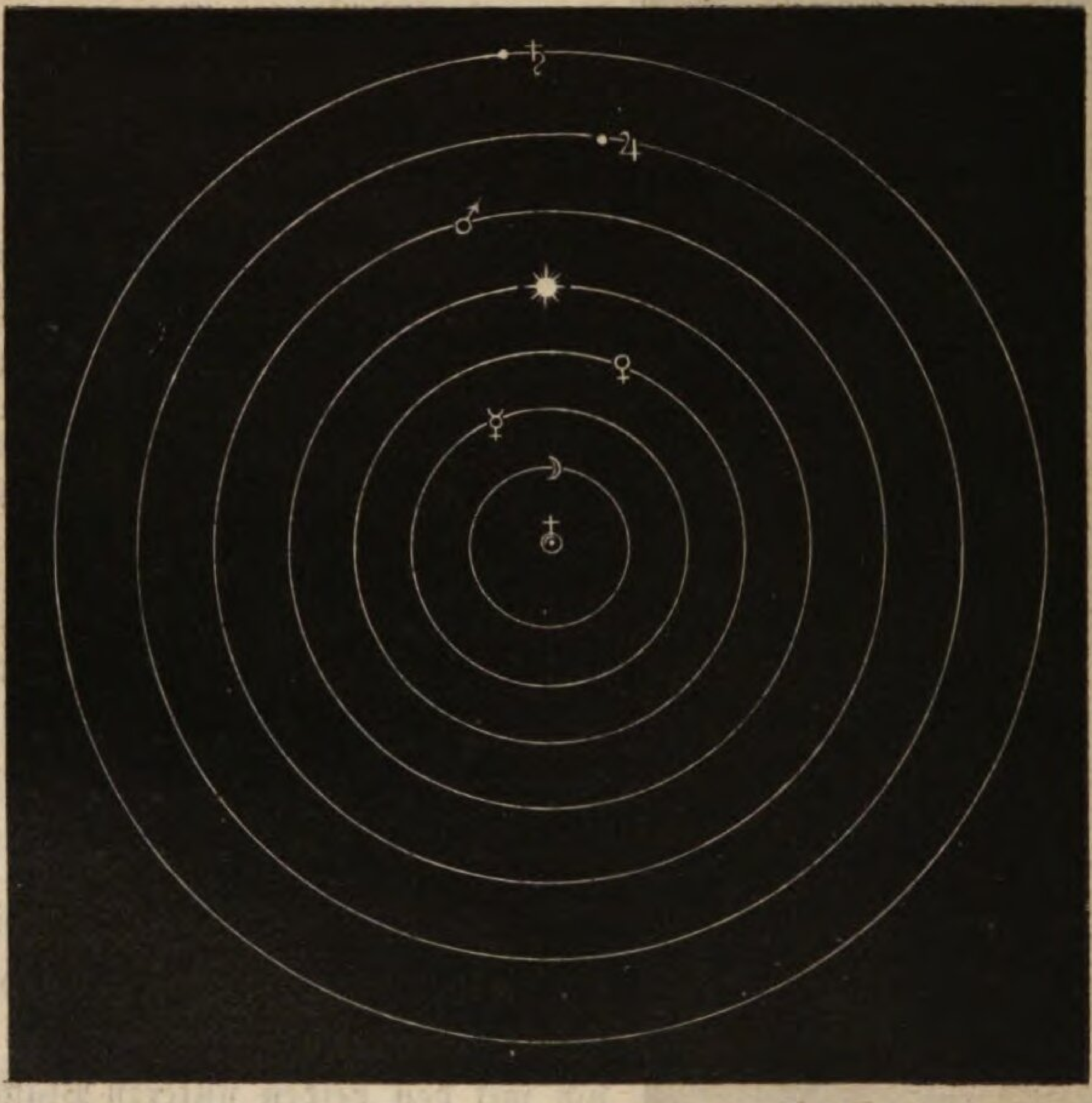
Die oberen Planeten erscheinen, durch hinlänglich vergrößernde Fernrohre gesehen, stets als runde Scheiben; anders verhält es sich mit den beiden unteren Planeten, welche Phasen zeigen, die denen unseres Mondes ähnlich sind. In der Nähe der oberen Conjunction erscheint die Venus als volle Scheibe, zur Zeit der größten Elongation ist sie ungefähr halb voll, und je mehr sie sich der unteren Conjunction nähert, desto mehr wird sie sichelförmig, während zugleich ihr Durchmesser wächst, wie dies Fig. 71 zeigt.

Mit bloßem Auge sind die Phasen der Venus nicht sichtbar; sie wurden von Galiläi mit dem von ihm construirten Fernrohre entdeckt.

Wir werden später diesen Punkt noch ausführlicher besprechen.

49 **Ptolemäisches, Aegyptisches und Tychonisches Planetensystem.** Der Erste, welcher es versucht hat, die Planetenbewegungen zu erklären, scheint Ptolemäus gewesen zu sein, welcher in der Mitte des zweiten Jahrhunderts zu Alexandrien lebte. Er stellte die Erde in die Mitte des Weltalls und um sie sollten dann der Mond, die Sonne und die fünf damals bekannten Planeten kreisen, und zwar ordnete er sie nach ihren mittleren scheinbaren Geschwindigkeiten so, daß diejenigen, welche schneller ihren Ort unter den Fixsternen ändern, der Erde die näheren sein sollten; von der Erde ausgehend, folgten sich demnach die Planeten sammt Mond und Sonne in folgender Ordnung: Mond, Mercur, Venus, Sonne, Mars, Jupiter und Saturn. Fig. 72 stellt die Grundidee des Ptolemäischen Systemes dar.

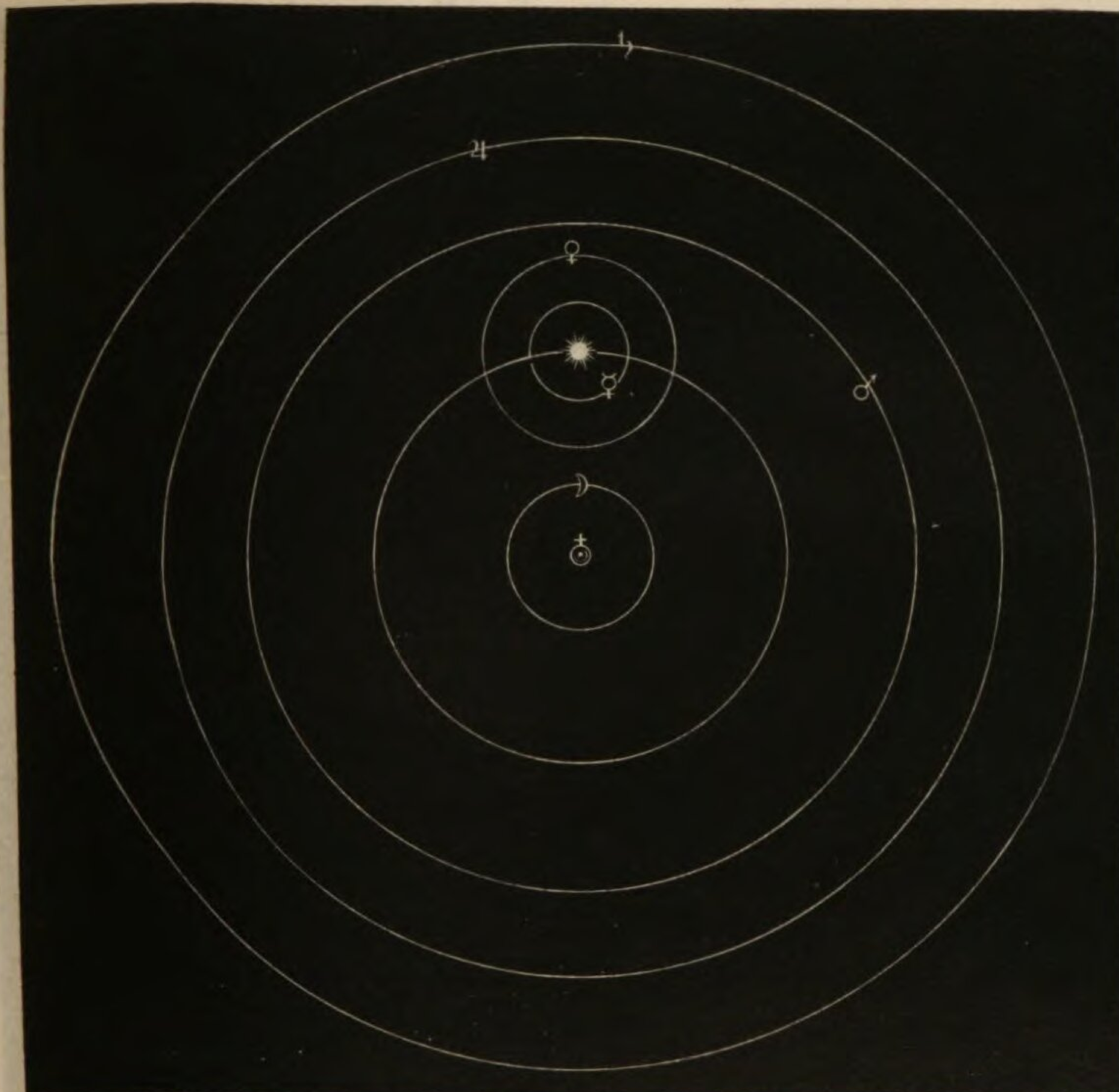
Fig. 72.



Nach diesem System ist nicht einzusehen, warum Venus und Mercur sich stets in der Nähe der Sonne aufhalten, warum sie nicht ebenfalls mit ihr in Opposition treten, wie die übrigen Planeten. Diesem Widerspruch suchten schon die älteren Astronomen durch eine Modification des Ptolemäischen Systemes abzuhelfen, indem sie annahmen, daß Mond, Sonne, Mars, Jupiter und Saturn in der angeführten Ordnung um die Erde laufen, daß aber Mercur und Venus sich in Kreisen bewegen, deren Mittelpunkt die Sonne ist. Dieses Planetensystem wird das Aegyptische genannt; es ist in Fig. 73 dargestellt.

Tycho de Brahe endlich stellt gleichfalls die Erde in den Mittelpunkt des Weltalls und läßt um sie den Mond und die Sonne kreisen. Die Sonne aber

Fig. 73.



bildet den Mittelpunkt für die Bahnen der Planeten. Die Entfernung der unteren von der Sonne ist kleiner, die der oberen ist größer als der Abstand der Sonne von der Erde, wie Fig. 74 (a. f. S.) darstellt.

Wir haben eben die drei genannten Planetensysteme nur in ihrer rohesten Form betrachtet, in welcher sie von den Ungleichförmigkeiten im Laufe der Planeten durchaus keine Rechenschaft geben. Um diese Ungleichförmigkeiten zu erklären, müssen noch Modificationen angebracht werden, die wir sogleich näher betrachten wollen.

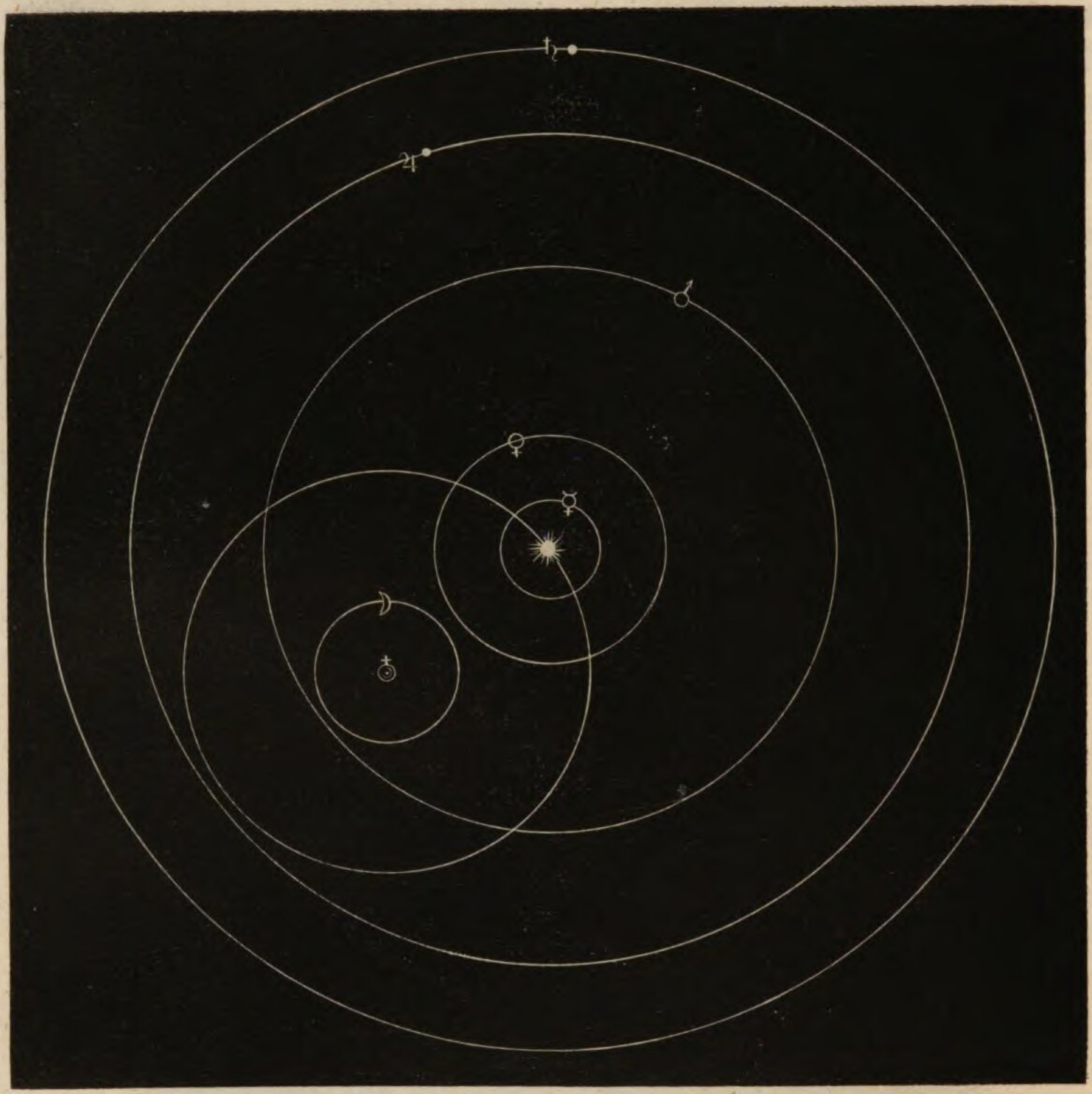
Die Alten unterschieden zweierlei Ungleichheiten im Laufe der Planeten.

Die erste Ungleichheit besteht darin, daß die Planeten sich keineswegs mit gleichförmiger Geschwindigkeit fortbewegen, daß sie bald schneller, bald langsamer in ihrer Bahn voranschreiten, wie wir dies auch schon bei der Sonne gesehen haben.

Diese erste Ungleichheit suchte man, wie bei der Sonne, durch die Annahme des excentrischen Kreises zu erklären.

Die **zweite Ungleichheit** kommt weder beim Monde noch bei der Sonne, sondern nur bei den Planeten vor; sie besteht darin, daß ihre rechtläufige Be-

Fig. 74.



wegung in gewissen Zeiten aufhört und in eine **rückläufige, retrograde,** sich verwandelt, wodurch dann die erwähnten Schleifen und Schlingen entstehen.

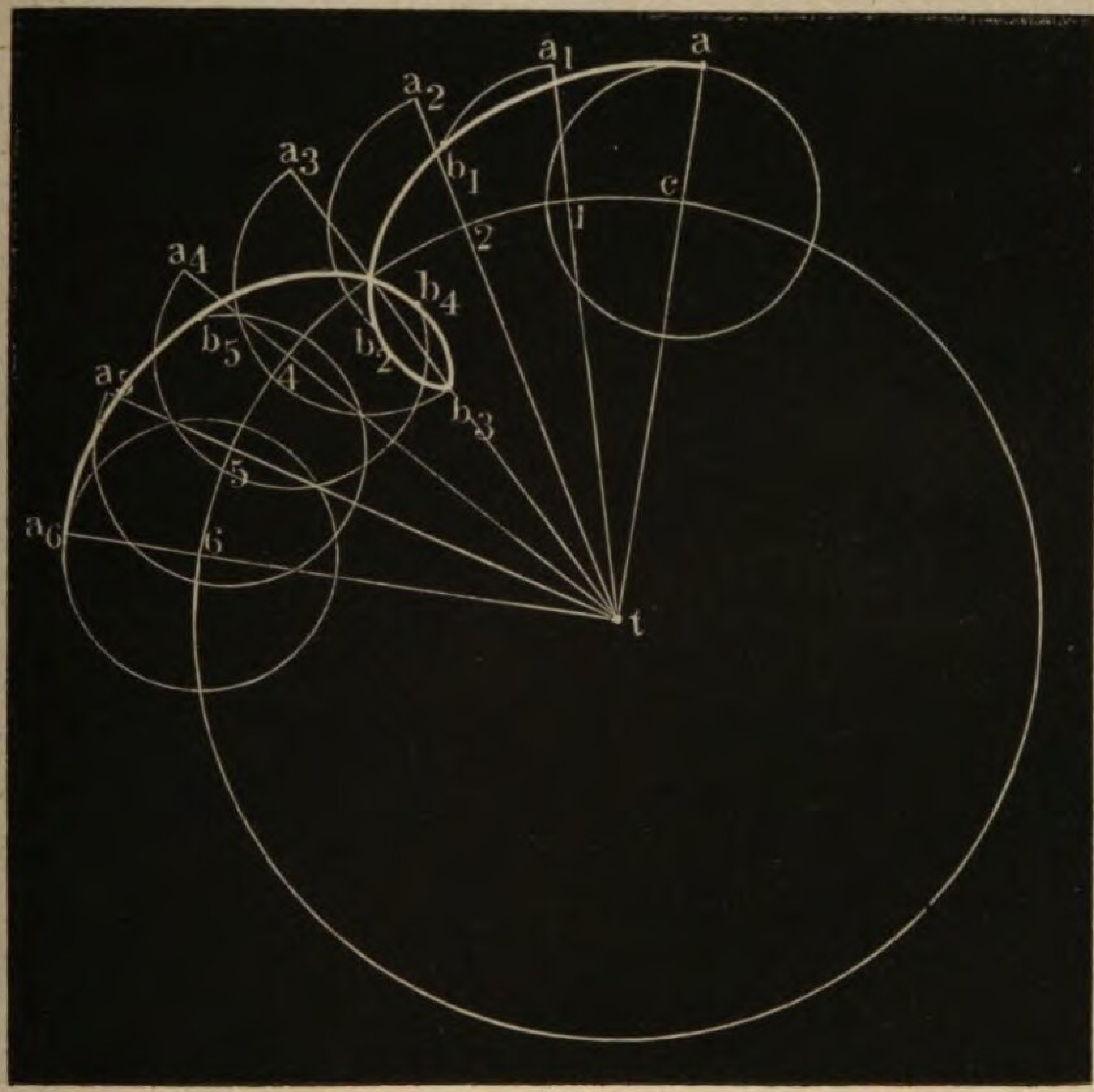
Diese zweite Ungleichheit suchte man in den genannten drei älteren Planetensystemen durch die Theorie der **Epicyklen** zu erklären, indem man annahm, daß die Planeten sich mit gleichförmiger Geschwindigkeit in Kreisen bewegen, deren Mittelpunkte selbst wieder einen Kreis um einen festen oder auch selbst wieder beweglichen Mittelpunkt beschreiben.

Diese in der That ganz sinnreiche Theorie erklärt der Art nach alle die sonderbaren Unregelmäßigkeiten, welche wir bereits kennen lernten. Die Figur 75 soll das Wesen dieser epicyklischen Bewegung anschaulich machen. Der Körper *a* bewege sich in einem Kreise, dessen Radius *ca* ist und dessen Mittelpunkt *c* selbst wieder einen Kreis um den Punkt *t* beschreibt, und zwar möge der Punkt *a* einen Umlauf um *c* vollenden, während der Mittelpunkt selbst von *c* bis 6 fortschreitet, so ergiebt sich leicht aus dem Anblick der Figur, daß der Punkt *a* der Reihe nach die Punkte b_1, b_2, b_3 u. s. w. passirt, daß also

$a\ b_1\ b_2\ b_3\ b_4\ b_5\ a_6$ der Weg im Raume ist, den der Punkt a in Folge seiner epicyklischen Bewegung zurücklegt.

Eine solche Curve $a\ b_1\ b_2\ b_3$ u. s. w. wird eine Epicykloide genannt.

Fig. 75.



Der Kreis, in welchem sich a in Beziehung auf den selbst fortschreitenden Mittelpunkt c bewegt, wird der Epicykel genannt; der Kreis aber, welchen der Mittelpunkt c des Epicykels beschreibt, wird der deferirende Kreis oder der Deferent genannt.

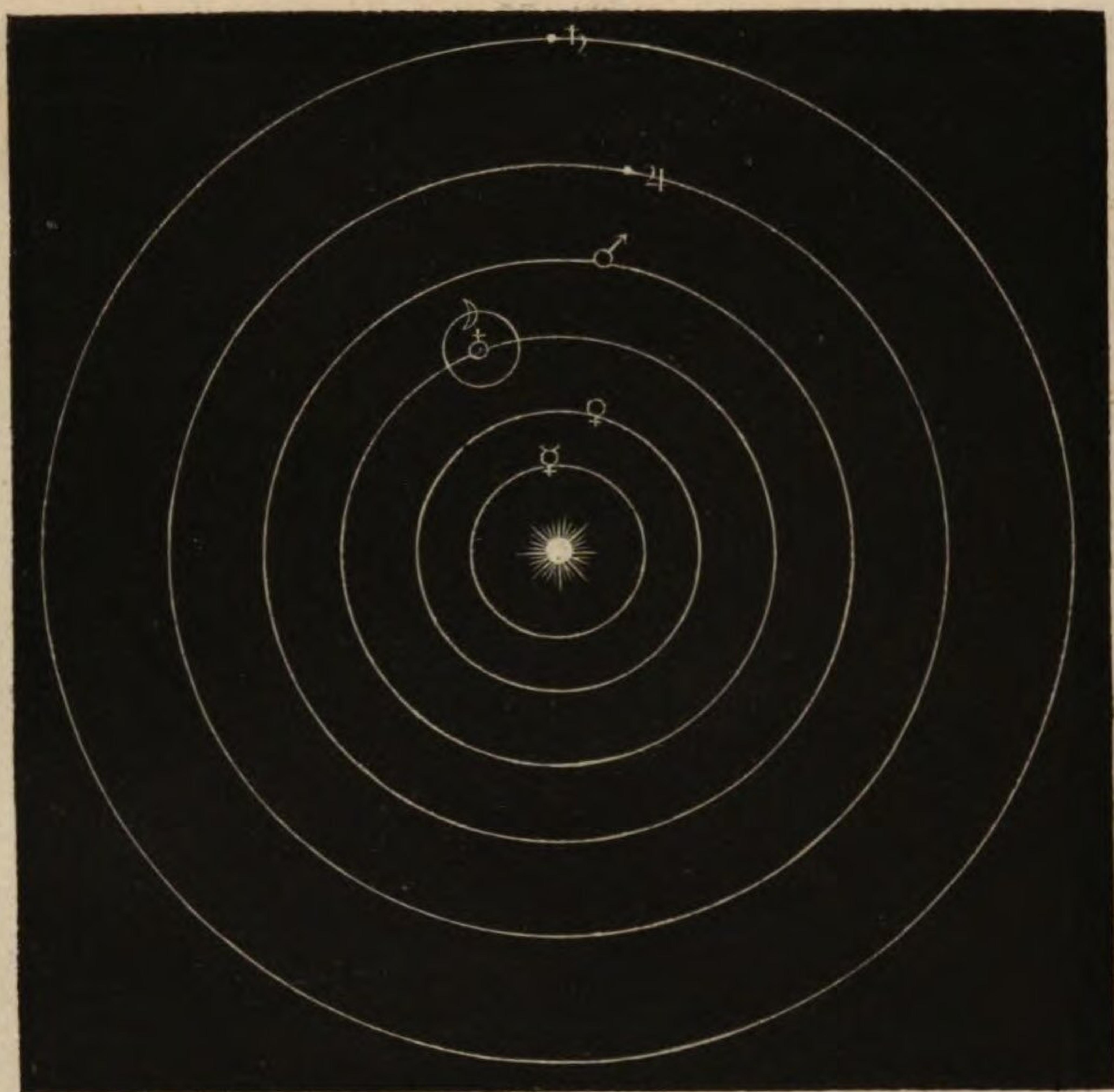
Man sieht wohl ein, daß sich auf diese Weise der Stillstand und die rückläufige Bewegung der Planeten im Allgemeinen recht gut erklären lassen, wenn man an die Stelle der einfachen Kreise in Fig. 72, 73 oder 74 solche Epicykloiden von entsprechender Gestalt setzt. Was die Gestalt der Epicykloiden betrifft, so hängt dieselbe einerseits von dem Verhältniß der Radien ca und ct des Epicykels und des Deferenten, und dann wieder von dem Verhältniß der Geschwindigkeiten ab, mit welchen die Planeten den Epicykel und der Mittelpunkt des Epicykels, den Deferenten, durchlaufen.

Die Zeit, in welcher der Epicykel durchlaufen wird, ist die synodische Umlaufszeit, die Zeit hingegen, in welcher der Mittelpunkt des Epicykels den Umfang des deferirenden Kreises zurücklegt, ist gleich der siderischen Umlaufszeit des Planeten zu setzen.

Das Copernicanische Weltsystem. Copernicus kehrte das Ptolemäische Planetensystem geradezu um, indem er die Sonne als den Mittelpunkt des Weltalls annahm und die Erde in die Reihe der sie umkreisenden Planeten setzte. Um die Sonne zunächst kreist, nach seiner Annahme, der Mercur und 50

die Venus, dann folgt die Erde, welche wieder vom Monde umkreist wird, ferner Mars, Jupiter und Saturn (Fig. 76).

Fig. 76.



Das Ptolemäische Weltsystem in seiner ursprünglichen Form war durchaus einfach und symmetrisch; diese Symmetrie wurde aber durch die Einführung der excentrischen Kreise und namentlich durch die Epicykeln gestört, deren man bedurfte, um die Erscheinungen am Himmel mit der Theorie in Uebereinstimmung zu bringen. Dadurch war die Einheit und Harmonie des Weltgebäudes verloren gegangen. Die Epicykelntheorie erschien dem Copernicus wie eine Verunstaltung der anschaulichen und ästhetischen Form des Weltalls.

Indem Copernicus die Sonne in die Mitte des Planetensystemes setzte, gelang es ihm, die zweite Ungleichheit der Planetenbewegung, die zeitweise retrograde Bewegung und die daraus sich ergebende Bildung von Schleifen in den Planetenbahnen ohne Epicykeln zu erklären, indem er diese Erscheinungen lediglich auf die Bewegung der Erde zurückführte, und so den Erscheinungen Genüge leistete, ohne die Einfachheit des Weltsystemes aufzuopfern.

Er selbst sagt in dieser Beziehung: »Durch keine andere Anordnung habe »ich eine so bewundernswürdige Symmetrie des Universums, eine so harmoni- »sche Verbindung der Bahnen finden können, als da ich die Weltleuchte, die »Sonne, die ganze Familie kreisender Gestirne lenkend, in die Mitte des schö- »nen Naturtempels wie auf einen königlichen Thron gesetzt.«

51 **Erklärung des Planetenlaufs nach dem Copernicanischen System.** Unsere nächste Aufgabe besteht nun darin, zu zeigen, daß die Eigen-

thümlichkeiten des Planetenlaufs sich wirklich durch das Copernicanische System erklären lassen; wir müssen also die scheinbare Bewegung der Planeten aus ihrer wahren Bewegung und der gleichzeitigen Bewegung der Erde ableiten.

Der größeren Anschaulichkeit wegen wollen wir zunächst einen speciellen Fall, den Lauf der Venus nämlich vom 3. Juli 1847 bis zum 2. December desselben Jahres betrachten, welcher in Fig. 77 (a. f. S.) dargestellt ist.

Die Venus ändert im Laufe dieser Zeit ihre Stellung nicht allein in Beziehung auf ihre Länge, sondern auch in Beziehung auf ihre Breite, d. h. sie bewegt sich nicht allein in der Ebene der Ekliptik bald recht-, bald rückläufig, sondern sie ändert auch ihre nördliche oder südliche Entfernung von der Ekliptik. Unsere Aufgabe zerfällt also in zwei Theile; es ist nämlich nachzuweisen, wie

1) die Veränderungen in der Länge, und

2) wie die Veränderungen in der Breite zu erklären sind.

Gehen wir zum ersten Theil der Aufgabe über.

Tab. VII. stellt nach dem Copernicanischen System die Bahnen der Venus und der Erde und zwar in dem richtigen Verhältniß ihrer Halbmesser dar. V, V_1, V_2, V_3, V_4 und V_5 sind die Orte, an welchen sich die Venus nach dem genannten Systeme wirklich am 3. Juli, am 4. August, am 5. September, am 7. October, am 8. November und am 2. December befindet. An denselben Tagen aber befindet sich die Erde in den Punkten T, T_1, T_2, T_3, T_4 und T_5. Am 3. Juli sehen wir also die Venus in der Richtung TV, am 4. August sehen wir sie in der Richtung $T_1 V_1$ u. s. w.

Es ist nun zu untersuchen, wo diese Visirlinien auf den Thierkreis treffen. Der Durchmesser der Erdbahn ist verschwindend klein im Vergleich zu der Entfernung der Fixsterne; sollte also in unserer Figur die Verlängerung der Linie TV die richtige Stelle des Thierkreises treffen, so müßte dieser mit einem so enormen Halbmesser gezogen werden, daß kein Papier ihn aufnehmen könnte; zieht man aber den Thierkreis mit einem kleineren Halbmesser, so braucht man nur parallel mit TV eine Linie durch den Mittelpunkt der Figur zu ziehen, um zu finden, auf welcher Stelle des Thierkreises zu jener Zeit die Venus projicirt erschien. Diese durch den Mittelpunkt der Figur gezogene Richtungslinie trifft auf einen Punkt des Thierkreises, welcher ungefähr 32° westlich vom Herbstpunkte (♎ in Fig. 68, der Punkt, in welchem sich Ekliptik und Aequator schneiden) liegt. Am 3. Juli 1847 war also die Länge der Venus $180^0 - 32 = 148^0$.

Auf gleiche Weise ergiebt sich die Länge der Venus:

am 4. August	. . .	177°
» 5. September	. .	196°
» 7. October	. . .	186°
» 8. November	. .	179,5°
» 2. December	. . .	203°.

Es ergiebt sich also aus dieser Construction in der That, wie die Venus vom 3. Juli bis zum 5. September rechtläufig ist, wie sie dann bald rückläufig wird, um nach einiger Zeit wieder in die rechtläufige Bewegung überzugehen.

Fig. 77.


Bahn der Venus
vom 3ten Juli bis zum
2ten December 1847.
Ekliptik
Aequator.
3 Juli
11 Juli
20 Aug.
28 Aug.
5 Sept.
4 Aug.
8 Nov.
7 Oct.
15 Oct.
2 Dec.
5 Sept.
150
160
170
180
190
200
10
0
10

Hätte man dieselbe Construction für jeden Tag des angegebenen Zeitraums gemacht, so hätte man gefunden, daß die Dauer der retrograden Bewegung sich ungefähr vom 10. September bis zum 23. October erstreckt.

Da die scheinbaren Planetenbahnen nicht genau in die Ekliptik fallen, sondern zum Theil auf der Nordseite, zum Theil auf der Südseite derselben liegen, so müssen die Ebenen der wahren Planetenbahnen einen Winkel mit der Ebene der Erdbahn machen. Die Neigung der Venusbahn gegen die Erdbahn beträgt 3⁰.

Ein Theil der wahren Venusbahn liegt also nördlich, der übrige Theil derselben liegt südlich von der Ebene der Erdbahn. Die Ebene der Tab. VII. stellt die Ebene der Erdbahn dar. Die nördliche Hälfte der Venusbahn, welche oberhalb dieser Ebene liegt, ist ausgezogen, während die südlich von der Ebene der Ekliptik liegende Hälfte der Venusbahn punktirt ist.

Der Winkel, welchen die Ebene der Venusbahn mit der Ebene der Erdbahn macht, beträgt, wie schon erwähnt worden ist, 3⁰. Die beiden Ebenen schneiden sich in einer Linie AB, Tab. VII., welche den Namen der Knotenlinie führt. Die Venus passirt während eines ganzen Umlaufs um die Sonne zweimal die Ebene der Erdbahn, einmal in dem Punkte a, welcher der niedersteigende Knoten genannt und durch ☋ bezeichnet wird, um von der Nordseite der Ekliptik auf die Südseite derselben überzugehen, dann aber wieder im Punkte b, dem aufsteigenden Knoten (☊), welchen sie passirt, wenn die südliche Breite der Venus in eine nördliche übergeht.

Am 3. Juli 1847 befand sich Tab. VII. zufolge die Venus noch nördlich von der Ekliptik, übereinstimmend mit dem scheinbaren Lauf, Fig. 77; sie näherte sich aber dem niedersteigenden Knoten, welchen sie ungefähr am 23. Juli passirte. Von nun an blieb die Breite der Venus eine südliche, bis sie am 11. November wieder den aufsteigenden Knoten passirte; der ganze scheinbare Weg, welchen die Venus vom 23. Juli bis zum 11. November durchläuft, muß also auf die Südseite der Ekliptik fallen, wie auch Fig. 77 zeigt.

Suchen wir nun aber durch Construction die Breite der Venus für eine gegebene Zeit zu ermitteln.

Eine rechtwinklig auf der Knotenlinie AB, Tab. VII. stehende Ebene schneidet die Ebene der Venusbahn in einer Linie CD. In Fig. 78 (a. f. S.) sei die Ebene des Papiers die auf der Knotenlinie AB rechtwinklig stehende Ebene; CD der Durchschnitt derselben mit der Ebene der Venusbahn, MN ihr Durchschnitt mit der Ebene der Erdbahn, so schneiden sich diese beiden Linien unter einem Winkel von 3⁰. Soll nun für einen bestimmten Tag, etwa für den 5. September 1847, die Breite der Venus bestimmt werden, so fällt man von ihrem wahren Ort V_2, Tab. VII., ein Perpendikel $V_2 v_2$ auf CD und überträgt alsdann die Länge Sv_2 auf die Linie CD in Fig. 78, so giebt die Entfernung des Punktes v_2 von der Linie MN die wahre Entfernung der Venus von der Ebene der Ekliptik für jene Zeit an. Um aber zu erfahren, wie viel Grade uns, von der Erde aus gesehen, die Venus von der Ekliptik entfernt erscheint hat man auf MN einen Punkt t_2 zu bestimmen, welcher von v_2 so

weit absteht wie T_2 auf Tab. VII. von V_2. Zieht man endlich die Linie $t_2 v_2$, so ist der Winkel, welchen diese Linie mit der Linie MN macht, gleich dem Winkel, um welchen die Venus zur angegebenen Zeit südlich von der Ekliptik erscheint; dieser Winkel ist unserer Construction zufolge ungefähr 6°.



Fig. 78.

Für den 5. September 1847 ergiebt sich also aus dieser Construction die Länge der Venus 196° (16° östlich vom Herbstpunkte 0 ♎), die südliche Breite aber gleich 6°.

Durch eine ähnliche Construction ergiebt sich für den 3. Juli die nördliche Breite der Venus gleich $1\frac{1}{2}$ Grad, während gleichzeitig ihre Länge 148° (32° westlich vom Herbstpunkte) ist.

Bestimmt man auf ähnliche Weise durch Construction die scheinbaren Oerter der Venus von 8 zu 8 Tagen vom 3. Juli bis zum 2. December 1847, so ergiebt sich in der That der scheinbare Lauf der Venus im angegebenen Zeitraum so, wie er Fig. 77 verzeichnet ist.

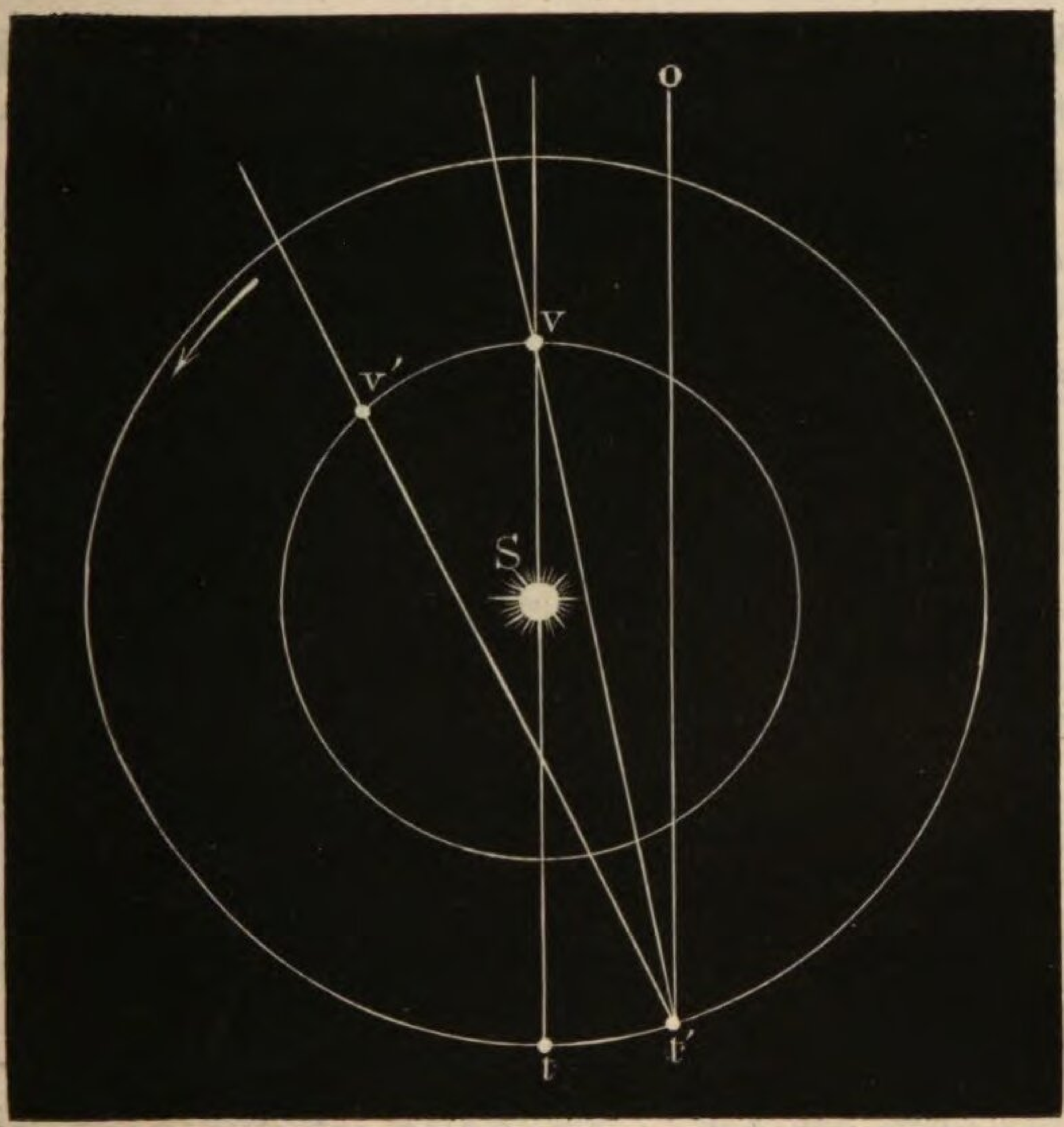
Wir haben für einen speciellen Fall nach dem Copernicanischen System ein Stück der scheinbaren Bahn eines Planeten durch Construction abgeleitet. Soll eine solche Construction genaue Resultate liefern, so muß die Zeichnung in größerem Maßstabe mit äußerster Sorgfalt ausgeführt werden. Es versteht sich übrigens von selbst, daß man den scheinbaren Lauf der Planetenbahn, von denselben Principien ausgehend, auch durch Rechnung finden kann, und zwar werden die Resultate der Rechnung ungleich genauer sein als die durch Zeichnung erhaltenen. Wir haben hier den Weg der geometrischen Construction nur der größeren Anschaulichkeit wegen gewählt.

Gehen wir nun von dem speciellen Fall zur allgemeinen Betrachtung über, so ergeben sich folgende Resultate:

Es wurde bereits oben S. 111 angeführt, daß die scheinbare Bewegung der Planeten die größte rechtläufige Geschwindigkeit hat, wenn der Planet gerade durch die Sonne verdeckt wird, also für die oberen Planeten zur Zeit der unteren Conjunction, für die unteren zur Zeit der oberen Conjunction. Dies ergiebt sich nun als nothwendige Folge aus dem Copernicanischen System. In Fig. 79 sei S die Sonne, t und v die gleichzeitigen Stellungen der Erde und der Venus zur Zeit der erwähnten Conjunction. Wenn nun der Planet stehen bliebe und die Erde sich von t nach t' bewegte, so würde sich der Planet scheinbar um den Winkel $o\,t'\,v$ nach Osten bewegt haben ($t'o$ parallel mit tv). Nun aber bewegt sich der Planet selbst noch von v nach v'

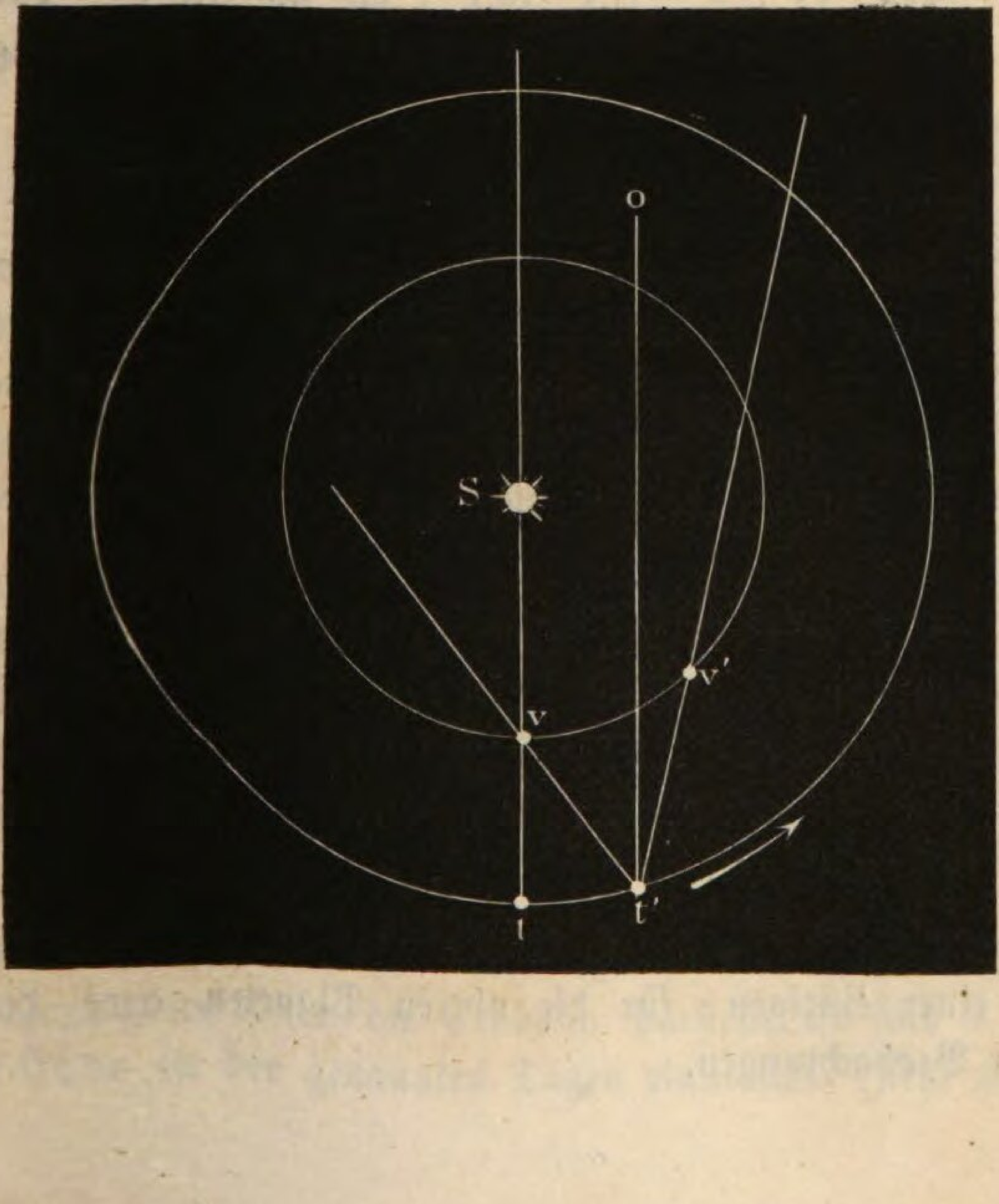
und dadurch wird die von der Erde nach den Planeten gerichtete Visirlinie noch um den ganzen Winkel *v t' v'* mehr nach Osten gedreht erscheinen; es summirt sich also hier die wahre Bewegung des Planeten zu der scheinbaren, welche durch das Fortrücken der Erde in ihrer Bahn bewirkt wird.

Fig. 79.



Befindet sich aber einer der unteren Planeten gerade zwischen der Erde und der Sonne, wie Fig. 80 zeigt, so würde sich der Planet scheinbar um den Winkel *o t' v* nach Osten bewegen, wenn nur die Erde von *t* nach *t'* fortschritte und der Planet in *v* stehen bliebe. Dadurch aber, daß der Planet von *v* nach *v'* sich bewegt, wird die von der Erde nach dem Planeten gerichtete Visirlinie wieder um den Winkel *v t' v'* nach Westen gedreht. Da nun die Planeten, welche der Sonne näher liegen, schneller in ihrer Bahn fortschreiten als die entfernteren, so ist *v v'* größer als *t t'*, also der Winkel *v t' v'* größer als *o t' v*, folglich wird sich der Planet am Himmel scheinbar nach Westen fortbewegen, während die Erde von *t* nach *t'* und der Planet von *v* nach *v'* fortschreiten; zur Zeit der unteren Conjunction ist also die Bewegung der Venus und des Mercur eine rückläufige.

Fig. 80.



Auf ähnliche Weise läßt

sich zeigen, daß für die oberen Planeten die scheinbare Bewegung zur Zeit der Opposition rückläufig ist.

52 **Elemente der Planetenbahnen nach dem Copernicanischen System.** Soll die Bahn eines Planeten und seine Bewegung in derselben vollständig bestimmt sein, so muß man folgende Elemente kennen:

1) den Halbmesser der Bahn (den mittleren Abstand von der Sonne);
2) die siderische oder wahre Umlaufszeit;
3) die Neigung der Bahn;
4) die Länge des aufsteigenden Knotens;
5) die Epoche.

Diese fünf Elemente sind für die sechs älteren Planeten folgende:

	Mittlerer Abstand von der Sonne.	Siderische Umlaufszeit.	Neigung der Bahn.	Länge des aufsteigenden Knotens.	Epoche.
Mercur . .	0,3871	87^t 23^h $16'$	7^0 $0,2'$	46^0 $24'$	241^0 $54,6'$
Venus . .	0,7233	224 16 49	3 23,5	75 12	289 40,5
Erde . . .	1,0000	365 6 9	0 0		100 32,5
Mars . . .	1,5237	686 23 30	1 51,1	48 17	317 19,6
Jupiter . .	5,2028	4332 14 2	1 18,7	98 49	307 7,8
Saturn . .	9,5388	10759 5 16	2 29,5	112 17	73 23,4

Zur Erläuterung dieser Tabelle sind noch einige Bemerkungen beizufügen.

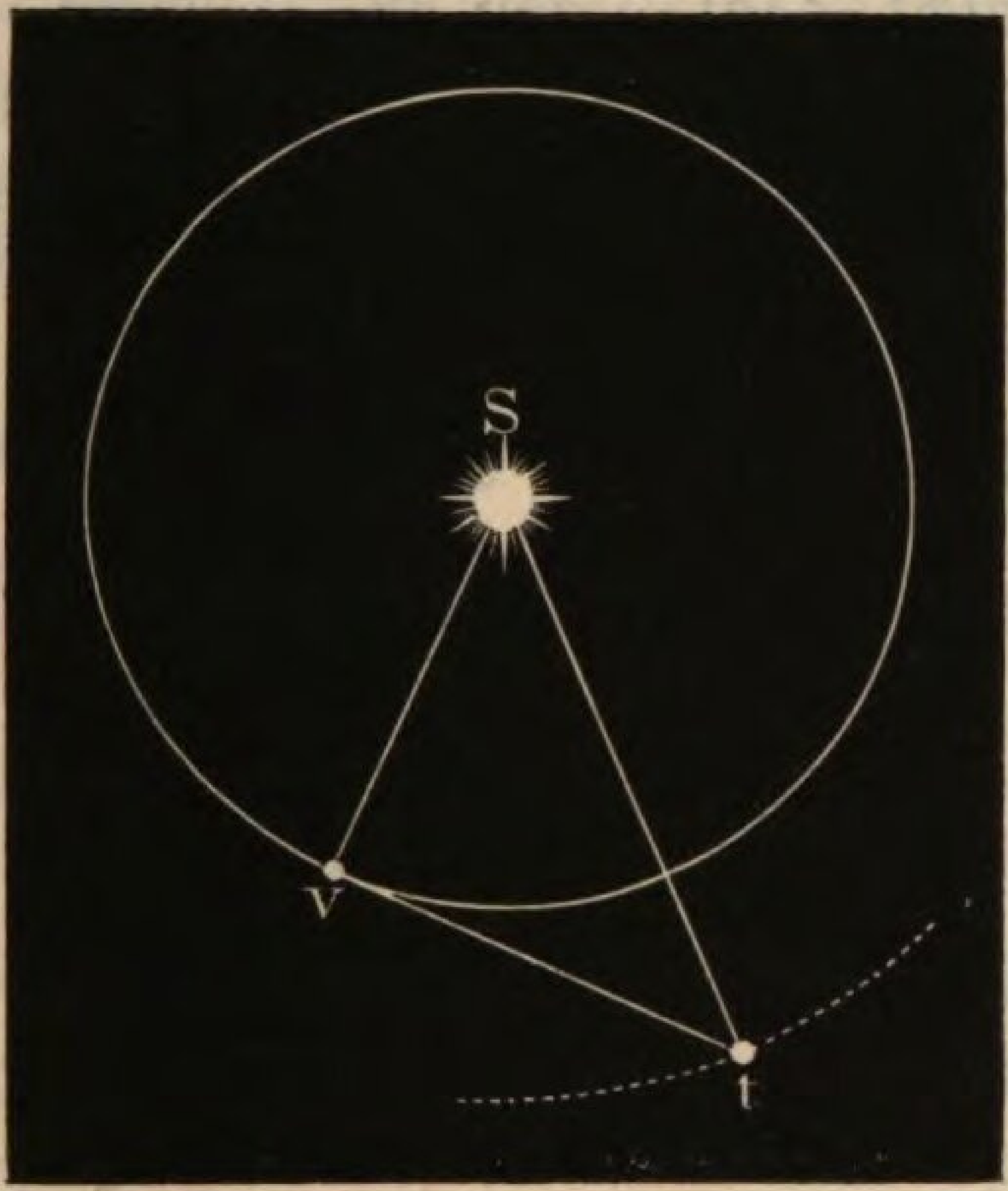
Im Ptolemäischen System kommt es nur auf das Verhältniß des Deferenten zum Epicykel an, das Verhältniß aber, in welchem die Radien der deferirenden Kreise für die verschiedenen Planeten stehen, ist dagegen ganz gleichgültig; das Ptolemäische System bietet deshalb auch keinen Anhaltspunkt zur Bestimmung der absoluten oder relativen Entfernung der Planeten vom Centralkörper des Systemes.

Anders verhält es sich beim Copernicanischen System; hier hängt die Gestaltung der scheinbaren Planetenbahn wesentlich ab von dem Größenverhältniß, in welchem der Abstand der Planeten von der Sonne zum Halbmesser der Erdbahn steht; die Abstände der Planeten von der Sonne gehören im Copernicanischen System zu den *wesentlichen* Elementen der Bahn.

Eine annähernd genaue Bestimmung dieser Abstände ergiebt sich für die unteren Planeten schon aus einer einzigen, für die oberen Planeten aus der Combination zweier passender Beobachtungen.

In Fig. 81 sei *S* die Sonne, der ganze ausgezogene Kreis die Bahn der Venus, der punktirte Bogen ein Stück der Erdbahn. Für die Zeit nun, in welcher uns der Winkelabstand der Venus von der Sonne ein Maximum wird, ist eine von der Erde zur Venus gezogene Linie *tv* eine Tangente der Venusbahn, es steht also *tv* rechtwinklig auf *vS* und es ist also $Sv = tS \, . \, \sin. \, 46^0$, da der Winkel *Stv*, das Maximum der Elongation zwischen Venus und Sonne, ungefähr 46⁰ beträgt. Wenn wir also den Abstand *St* der Erde von der Sonne mit 1 bezeichnen, so ist also der Abstand *vS* der Venus von der Erde gleich 0,72.

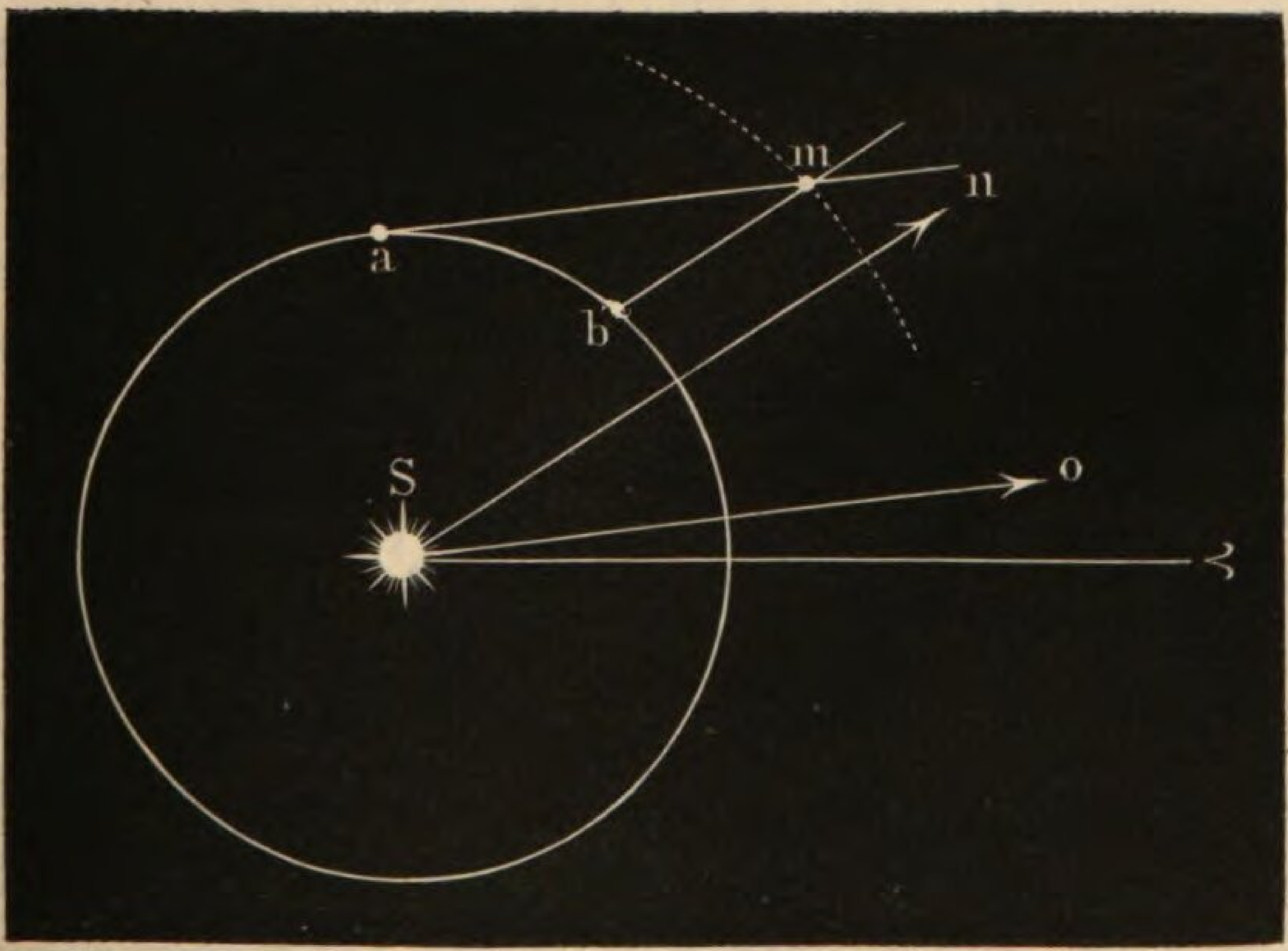
Fig. 81.



In derselben Weise läßt sich auch die Entfernung des Mercur von der Sonne bestimmen.

Eine annähernd genaue Bestimmung des Abstandes der **oberen** Planeten von der Sonne ergiebt sich aus der Beobachtung zweier auf einander folgender Durchgänge derselben durch den aufsteigenden Knoten. So ging z. B. Mars durch den aufsteigenden Knoten am 1. Januar 1846 und dann wieder am 19. November 1847. Die entsprechenden Durchschnittspunkte der **scheinbaren** Marsbahn mit der Ekliptik lagen aber 7⁰ und 33⁰ östlich vom Frühlingspunkte; demnach sind *So* und *Sn*, Fig. 82, die Richtungen, nach welchen am 1. Januar 1846 und am 19. November

Fig. 82.



1847 **Mars** von der Erde aus gesehen ward. Wenn nun aber der innere ausgezogene Kreis die Erdbahn darstellt, so sind *a* und *b* die Stellen, welche die Erde in den genannten Tagen einnimmt. Zieht man nun durch *a* eine Linie

parallel mit *So*, durch *b* eine zweite parallel mit *Sn*, so werden sich diese Linien in *m* schneiden. Dieser Punkt *m* aber ist offenbar derjenige Punkt der Marsbahn, in welchem sich der fragliche Planet an den genannten Tagen befindet, und *Sm* ist die Entfernung des Mars von der Sonne, wenn *Sa* der Abstand zwischen Erde und Sonne ist.

Daß eine solche Bestimmungsweise nicht ganz genau ist, sondern nur eine erste Annäherung liefern kann, versteht sich von selbst, und zwar um so mehr, als der Abstand der Planeten von der Sonne, wie wir bald sehen werden, selbst innerhalb gewisser Gränzen veränderlich ist, was daher rührt, daß die Sonne nicht genau im Mittelpunkte der Planetenbahnen liegt. Die obige Tabelle giebt den mittleren Abstand der Planeten von der Sonne.

Was unter der Neigung der Bahn zu verstehen ist, wird nach dem vorigen Paragraphen klar sein.

Wenn man von der Sonne aus durch den aufsteigenden Knoten einer Planetenbahn eine gerade Linie gezogen denkt, wie Tab. VII., welche von dem Mittelpunkte der Sonne über den aufsteigenden Knoten der Venusbahn gezogen ist, so trifft diese Linie die Ekliptik in einem bestimmten Punkte *A*. Der Bogen vom Frühlingspunkte bis zu diesem Punkte ist die (heliocentrische) Länge des aufsteigenden Knotens. So sehen wir aus Tab. VII., daß die Länge des aufsteigenden Knotens der Venus 75° 24′ ist.

Die Epoche, welche wir in der letzten Columne der obigen Tabelle finden, giebt uns die heliocentrische Länge der Planeten für irgend einen bestimmten Zeitpunkt; in obiger Tabelle ist unter der Ueberschrift »Epoche« in der letzten Verticalreihe die heliocentrische Länge der Planeten für den 1. Januar 1855 angegeben.

Auf Tab. VIII. sind die Bahnen der unteren Planeten, der Erde und des Mars, auf Tab. IX. die der Erde und der oberen Planeten dargestellt, und zwar ist auf jeder Bahn die Stelle bezeichnet, welche der Planet am 1. Januar 1855 einnimmt. Ebenso findet man auf Tab. VIII. und auf Tab. IX. die Lage des aufsteigenden Knotens für jeden Planeten bezeichnet. Derjenige Theil der Planetenbahnen, welcher südlich von der Ekliptik liegt, also der Weg vom niedersteigenden Knoten bis zum aufsteigenden ist punktirt.

Um die erste Ungleichheit der Planetenbewegung zu erklären, mußte auch Copernicus die Theorie des excentrischen Kreises in sein System aufnehmen, d. h. er mußte annehmen, daß, wie wir bereits S. 185 in Betreff der Erde gesehen haben, die Sonne mehr oder weniger außerhalb des Mittelpunktes der Planetenbahnen liege.

Nach dem Copernicanischen System ist die siderische Umlaufszeit nichts Anderes als die wahre Umlaufszeit des Planeten um die Sonne, d. h. die Zeit, welche er braucht, um einen Winkel von 360° um die Sonne herum zurückzulegen. Von dieser siderischen Umlaufszeit ist die tropische und die synodische Umlaufszeit zu unterscheiden.

Die **tropische Umlaufszeit** ist die Zeit, welche zwischen zwei von der Sonne aus gesehenen Durchgängen des Planeten durch den Frühlingspunkt liegt. Wäre der Frühlingspunkt unveränderlich, so wäre die tropische Umlaufszeit der siderischen gleich; wegen des Rückganges des Frühlingspunktes aber ist die tropische Umlaufszeit etwas kürzer.

Die **synodische Umlaufszeit** ist, wie wir schon oben gesehen haben, die Zeit, welche zwischen zwei auf einander folgenden gleichnamigen Conjunctionen des Planeten mit der Sonne vergeht, oder auch die Zeit von einer Opposition zur nächsten.

Die folgende Tabelle enthält eine Zusammenstellung der siderischen, tropischen und synodischen Umlaufszeit der bisher besprochenen Planeten.

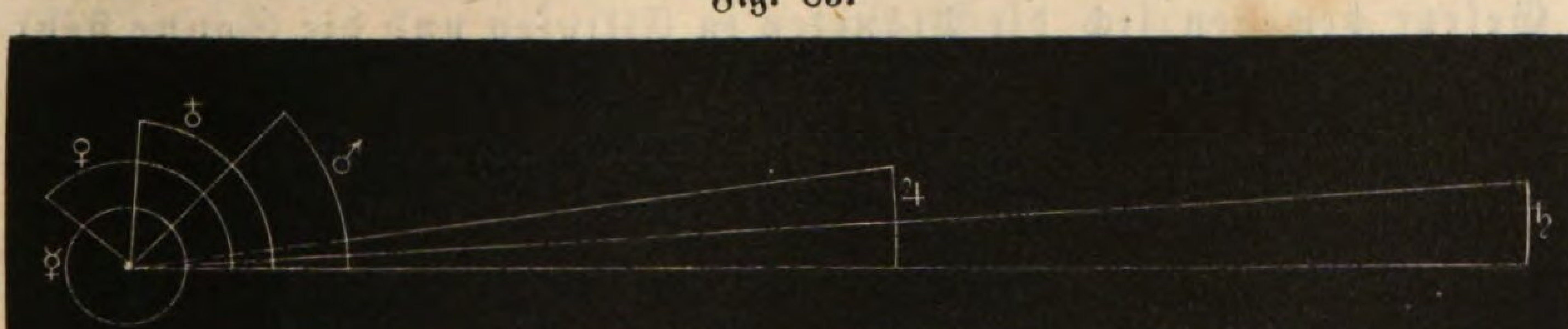
	Umlaufszeit		
	siderische.	tropische.	synodische.
Mercur	87^t 23^h 16′	87^t 23^h 15′	115^t 21^h
Venus	224 16 49	224 16 41	583 22
Erde	365 6 9	365 5 19	
Mars	686 23 30	686 22 18	780 0
Jupiter	4332 14 2	4330 14 10	398 22
Saturn	10759 5 16	10746 22 30	378 2

Aus den oben angegebenen Werthen für die siderische Umlaufszeit der Planeten ergiebt sich, daß die Winkelgeschwindigkeit, mit welcher sie sich in ihren Bahnen um die Sonne bewegen, um so geringer ist, je weiter sie von der Sonne abstehen. Während Mercur nie seinen ganzen siderischen Umlauf vollendet, hat der Winkel, welchen die übrigen Planeten in der gleichen Zeit zurücklegen, nahezu folgende Werthe:

Mercur	360°	Mars	46,1°
Venus	140,8	Jupiter	7,3
Erde	87,8	Saturn	2,9

Dies Verhältniß wird durch Fig. 83 anschaulich gemacht.

Fig. 83.



Aber nicht allein die Winkelgeschwindigkeit, sondern auch die absolute Geschwindigkeit der Planeten in ihren Bahnen ist um so geringer, je größer ihr Abstand von der Sonne ist. Der Weg, welchen im Durchschnitt die einzelnen Planeten in ihren Bahnen fortschreitend in 1 Secunde zurücklegen, ist für

Mercur	6,7 Meilen	Mars	3,4 Meilen
Venus	4,9 »	Jupiter	1,7 »
Erde	4,7 »	Saturn	1,3 »

53 **Die Kepler'schen Gesetze.** Obgleich das Copernicanische System die Grundlage für alle weiteren Entwickelungen der Astronomie bildet, so war durch dasselbe für die praktische Astronomie unmittelbar doch nicht viel gewonnen, denn die nach demselben vorausberechneten Planetenörter stimmten mit den beobachteten Bahnen kaum genauer überein, als die nach den früheren Hypothesen berechneten Oerter. Die Differenz zwischen Rechnung und Beobachtung ging weit über die Gränze der Beobachtungsfehler hinaus.

Dies konnte auch Tycho de Brahe, den ersten beobachtenden Astronomen seiner Zeit, veranlassen, dem Copernicanischen System seine Anerkennung zu versagen, dem alten Vorurtheil huldigend, daß die Erde im Weltraum feststehe; er stellte das System auf, welches wir S. 115 kennen lernten.

Kepler war Jahre lang bemüht, die Grundidee des Copernicanischen Systemes adoptirend, dasselbe so zu modificiren, daß man die Bahn der Planeten mit genügender Genauigkeit danach berechnen könne. Bloße Veränderungen in den Elementen der Planetenbahnen führten nicht zum Ziele; die zahlreichen und genauen Beobachtungen der Sonne und mehrerer Planeten, welche Tycho de Brahe hinterlassen hatte, ließen sich auf diese Weise nicht mit dem Copernicanischen System in Uebereinstimmung bringen.

Zunächst ließen sich die Tychonischen Beobachtungen nicht mit der Annahme in Uebereinstimmung bringen, daß die Planeten mit gleichförmiger Geschwindigkeit in ihren Bahnen fortschreiten, und durch eine sorgfältige und mühsame Combination des vorhandenen Beobachtungsmaterials gelangte endlich Kepler in Beziehung auf die Geschwindigkeit zu dem Gesetze, welches wir bereits oben S. 96 kennen gelernt haben und welches den Namen des ersten Kepler'schen Gesetzes führt. Dieses Gesetz gilt ebenso wie für die Erde auch für alle anderen Planeten.

Das zweite Gesetz, welches Kepler aus den Tychonischen Beobachtungen ableitete, bezieht sich auf die Gestalt der Planetenbahnen. Auch dieses Gesetz ist bereits oben (S. 96) erwähnt worden. Nach dem zweiten Kepler'schen Gesetze bewegen sich die Planeten in Ellipsen und die Sonne steht in dem einen Brennpunkt derselben.

Die Entfernung der Sonne von dem Mittelpunkte der Ellipse wird, wie bereits Seite 96 erwähnt wurde, die Excentricität genannt.

Die Gestalt der Ellipse ist bestimmt, wenn man ihre halbe große Axe (die mittlere Entfernung des Planeten von der Sonne) und ihre Excentricität kennt; um die Lage der Bahn im Raume zu kennen, muß man noch die Nei-

gung der Bahn, die Länge des Periheliums und die Länge des aufsteigenden Knotens kennen. Zum Theil sind diese Elemente für die Erde und die mit bloßem Auge sichtbaren Planeten schon in der Tabelle auf Seite 124 mitgetheilt worden, die übrigen folgen hier:

	Excentricität.	Länge des Periheliums.
Mercur	0,206	74° 57,5
Venus	0,007	124 14,4
Erde	0,017	100 11,5
Mars	0,093	333 6,6
Jupiter	0,048	11 45,5
Saturn	0,056	89 54,7

Die Excentricität ist hier in Theilen der halben großen Axe ausgedrückt. Man sieht, daß sie für den Mercur und den Mars am bedeutendsten ist.

Bezeichnen wir die halbe große Axe der Mercursbahn mit 1, so ist die Excentricität nach obiger Tabelle 0,206, und daraus folgt dann, daß die halbe kleine Axe der Mercursbahn 0,978 ist. Bei der Kleinheit des Maßstabes, in welchem die Tab. VIII. ausgeführt ist, kann also die Differenz der großen und kleinen Axe der Mercursbahn ganz unberücksichtigt bleiben; die Mercursbahn ist deshalb gleich den Bahnen der anderen Planeten auf Tab. VIII. und IX., deren Excentricität noch geringer ist, als vollständiger Kreis gezogen. Jedoch liegt die Sonne, wie man sieht, nicht im Mittelpunkte dieser Kreise, sondern sie steht von demselben so weit ab, wie es nach dem Werthe der Excentricität der obigen Tabelle sein muß.

Nur für die Erd- und Venusbahn ist die Excentricität so gering, daß bei dem Maßstab der beiden Tafeln VIII. und IX. die Sonne mit dem Mittelpunkte der Kreise zusammenfällt.

In Tab. VIII. und IX. ist die Stelle der Sonnennähe jedes einzelnen Planeten durch einen von der Sonne ausgehenden Pfeil bezeichnet.

Das dritte Kepler'sche Gesetz bezieht sich auf das Verhältniß, welches zwischen der Umlaufszeit der Planeten und ihrer mittleren Entfernung von der Sonne besteht. Es heißt:

Die Quadrate der Umlaufszeiten verschiedener Planeten verhalten sich wie die dritten Potenzen ihrer mittleren Entfernungen von der Sonne.

Bezeichnen wir mit T und R die Umlaufszeit und die mittlere Entfernung eines Planeten von der Sonne, mit t und r die entsprechenden Größen für einen anderen Planeten, so ist dem dritten Kepler'schen Gesetze zufolge

$$\frac{T^2}{R^3} = \frac{t^2}{r^3},$$

oder in Worten, der Quotient, welchen man erhält, wenn man das Quadrat der Umlaufszeit eines Planeten durch die dritte Potenz seiner mittleren Entfernung von der Sonne dividirt, ist eine constante Größe.

Drückt man die Umlaufszeit eines Planeten in Tagen aus, während man die mittlere Entfernung der Erde von der Sonne als Längeneinheit nimmt, so ergiebt sich jener Quotient gleich 133407, wovon man sich leicht mit Hülfe der in der Tabelle auf Seite 124 mitgetheilten Zahlen überzeugen kann.

Die absolute Entfernung der verschiedenen Planeten von der Sonne kannte Kepler zwar noch nicht; zur Aufstellung des dritten Gesetzes war aber auch die Kenntniß dieser absoluten Entfernung gar nicht nöthig, es genügte zu wissen, wie sich die Abstände der Planeten von der Sonne zum Halbmesser der Erdbahn verhalten, wie denn ja auch in der Tabelle auf Seite 124 der Halbmesser der Erdbahn als Längeneinheit genommen ist, mit welcher die Abstände der übrigen Planeten von der Sonne gemessen sind.

Gehen wir jetzt zu der Betrachtung der einzelnen Planeten über.

54 **Mercur.** Mercur steht der Sonne stets so nahe, daß er nie bei voller Nacht, sondern nur in der Morgen- oder Abenddämmerung gesehen werden kann. Der größte Winkelabstand, bis zu welchem er sich möglicherweise von der Sonne entfernen kann, beträgt 27° 42′. Er kann deshalb nicht leicht beobachtet werden, namentlich in höheren Breiten, wo die Dämmerung länger dauert. Durch das Fernrohr betrachtet, zeigt der Mercur Phasen, welche denjenigen ganz ähnlich sind, die man an der Venus beobachtet und die im nächsten Paragraphen ausführlicher besprochen werden sollen.

Wenn die untere Conjunction des Mercur zu einer Zeit stattfindet, wo dieser Planet sich ganz in der Nähe eines der Knotenpunkte seiner Bahn befindet, so sieht man ihn als einen scharfen schwarzen Punkt vor der Sonnenscheibe vorübergehen. Solche Durchgänge des Mercur, deren durchschnittlich 13 in einem Jahrhundert stattfinden, sind jedoch mit bloßem Auge nicht wahrnehmbar; es bedarf dazu eines Fernrohrs.

Kepler kündigte zuerst einen solchen Durchgang für das Jahr 1631 an und Gassendi beobachtete denselben zu Paris am 6. November des genannten Jahres. Im Reste des gegenwärtigen Jahrhunderts werden solche Vorübergänge des Mercur von der Sonnenscheibe noch an folgenden Tagen stattfinden:

Am 11. November 1861,	am 7. November 1881*,
» 4. November 1868,	» 9. Mai 1891*,
» 6. Mai 1878,	» 10. November 1894.

Die beiden mit * bezeichneten Durchgänge sind in Deutschland unsichtbar.

Solche Durchgänge sind sehr geeignet, um den scheinbaren Durchmesser des Mercur zur Zeit seiner unteren Conjunction zu messen.

Die kleinste Entfernung des Mercur von der Sonne beträgt ungefähr 6 Millionen, die größte 10 Millionen, die mittlere 8 Millionen Meilen.

Die größte Entfernung, bis zu welcher möglicherweise Mercur sich von der

Erde entfernen kann, beträgt 30 Millionen; die kleinstmögliche aber 11 Millionen Meilen.

Der Durchmesser des Mercur beträgt 670 Meilen, oder nahezu 0,4 Erddurchmesser.

Venus. Unter allen Planeten kommt keiner der Erde so nahe als die 55
Venus, welche sich auch durch ihr blendend weißes intensives Licht vor allen übrigen auszeichnet.

Da die größte Elongation der Venus 45 bis 48° beträgt, so kann dieser Planet schon drei Stunden vor Sonnenaufgang oder noch drei Stunden nach Sonnenuntergang am Himmel sichtbar sein; er kann also bei voller Nacht beobachtet werden.

Die Erscheinungen, welche die Venus darbietet, sind im Wesentlichen dieselben, wie die bereits beim Mercur erwähnten; weil sie aber bei der Venus viel leichter wahrnehmbar sind, so sollen dieselben hier auch ausführlicher besprochen werden.

Nach der oberen Conjunction entfernt sich die Venus rasch von der Sonne, und zwar nach Osten hin, so daß ihr Untergang nach dem Untergang der Sonne stattfindet, der Planet also in den Abendstunden sichtbar wird, weshalb er zu dieser Zeit den Namen Abendstern führt.

Indem sich Venus östlich von der Sonne entfernt, nimmt ihr Glanz sowohl wie ihr scheinbarer Durchmesser zu. Wenn man sie durch ein Fernrohr betrachtet, so beobachtet man eine Abnahme der Lichtgestalt auf der der Sonne abgewendeten Seite, wenn die Venus sich ihrer größten Elongation nähert; hat sie aber ihre größte östliche Entfernung von der Sonne erreicht, so erscheint sie nur noch halb erleuchtet, sie erscheint uns wie der Mond im ersten Viertel.

Fig. 84 (a. f. S.) dient dazu, sowohl die scheinbare Bewegung der Venus in Beziehung auf die Sonne als auch den Wechsel der Lichtgestalten anschaulich zu machen; sie stellt nämlich die scheinbare Bewegung der Venus um die Sonne im Jahre 1847 dar. Am 1. Januar 1847 stand die Venus ungefähr 4° östlich von der Sonne; am 29. März ging sie durch den aufsteigenden Knoten 24° von der Sonne entfernt; den größten östlichen Abstand von $45\frac{3}{4}$ Grad erreichte sie am 21. Juli, nahe um dieselbe Zeit, in welcher sie den niedersteigenden Knoten passirte. Um diese Zeit der größten Elongation erscheint die Venus halb beleuchtet.

Wegen des starken Glanzes der Venus ist die Abnahme ihrer Lichtgestalt auf der Ostseite erst deutlich wahrzunehmen, wenn dieselbe schon weit vorgeschritten ist.

Nachdem die größte Elongation erreicht worden ist, nähert sich die Venus anfangs langsam, dann aber sehr rasch der Sonne wieder, wobei ihr scheinbarer Durchmesser bedeutend wächst, während die Lichtgestalt auf der Ostseite mehr und mehr abnimmt. Kurz vor der unteren Conjunction erscheint uns die Venus, durch ein Fernrohr gesehen, nur noch als eine schmale Sichel, worauf sie dann in den Strahlen der Sonne verschwindet, um nach kurzer Zeit auf der Westseite

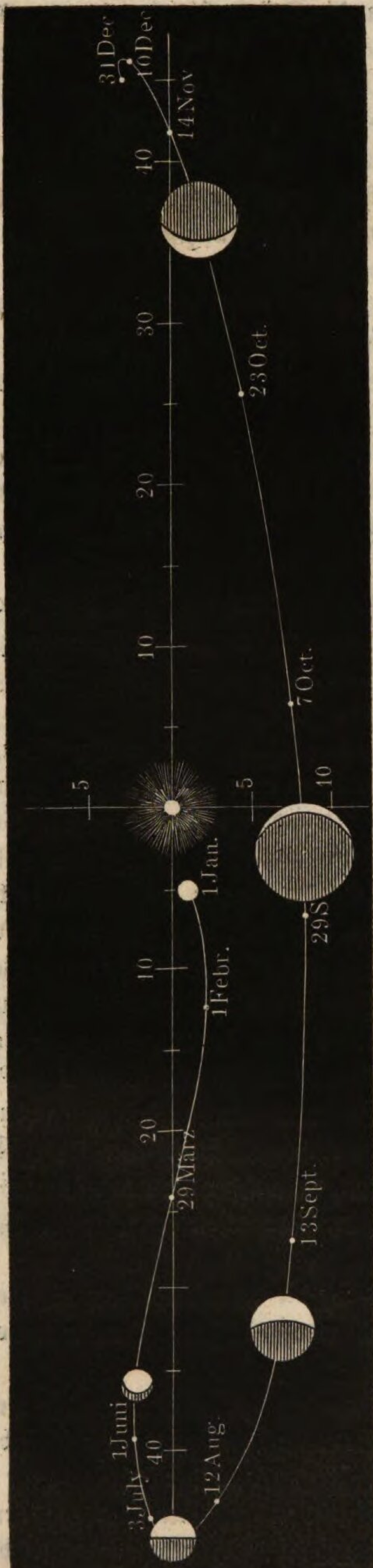


Fig. 84.

derselben wieder zu erscheinen. Venus geht nun vor der Sonne auf, sie ist **Morgenstern**.

Nach der unteren Conjunction nimmt die Lichtgestalt der Venus allmälig wieder zu, bis sie die größte westliche Elongation erreicht hat, wo sie wieder die Gestalt eines Halbmondes zeigt.

Zur Zeit der unteren Conjunction hatte die Venus im Jahre 1847 eine über 8 Grad betragende südliche Declination, sie ging also unterhalb der Sonne vorüber; zu anderen Zeiten geht sie in gleicher Weise auf der Nordseite der Sonne vorüber.

Wenn die untere Conjunction der Venus und der Sonne zu einer Zeit stattfindet, wo die nördliche oder südliche Declination der Venus Null oder doch sehr gering ist, zur Zeit also, wo die Venus den aufsteigenden oder niedersteigenden Knoten passirt, so sieht man die Venus durch Fernröhre als einen völlig schwarzen, scharf begränzten runden Fleck von mehr als 1′ Durchmesser vor der Sonnenscheibe vorübergehen. Fig. 85 stellt den Venusdurchgang von 1761 und den Mercursdurchgang von 1710 dar.

Nach dem eben Gesagten kann ein **Venusdurchgang** nur zu einer Zeit stattfinden, wo sich die Erde ganz in der Nähe von einem der Punkte *f* oder *g*, Tab. VII., befindet, in welchen die Knotenlinie *AB* der Venusbahn die Erdbahn schneidet. In *f* befindet sich die Erde am 5. Juni, in *g* aber am 7. December.

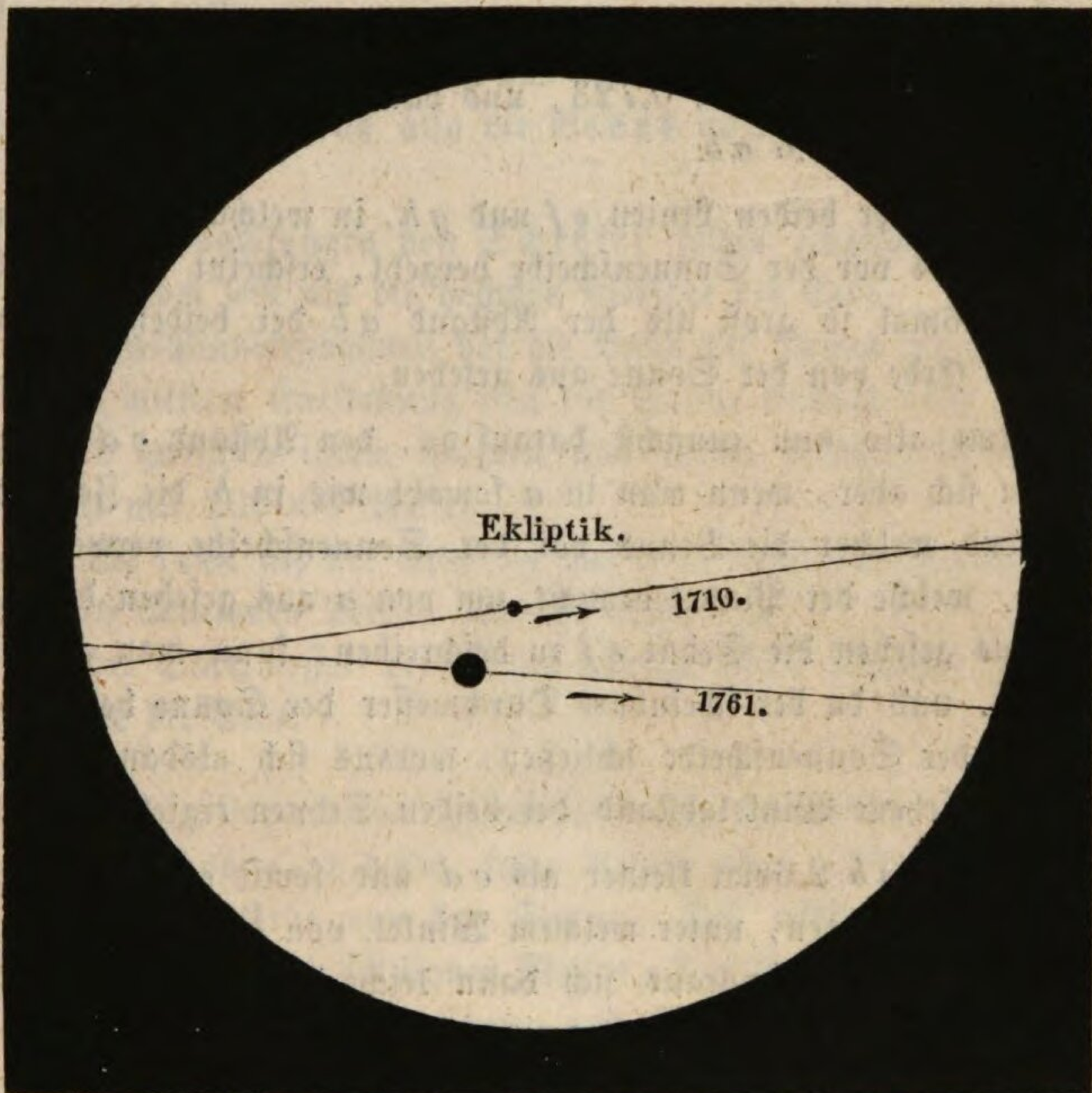
Es kann demnach ein Venusdurchgang nur stattfinden, wenn eine untere Conjunction der Venus an einem der Tage vom 2. bis 8. Juni oder vom 4. bis 10. December eintritt.

Der erste Venusdurchgang, welcher beobachtet wurde, fand am 4. December

1639 Statt. Danach ereigneten sich zwei Durchgänge am 6. Juni 1761 und am 3. Juni 1769. Die nächsten vier Durchgänge werden stattfinden:

Am 8. December 1874,	am 7. Juni 2004,
» 6. December 1882,	» 5. Juni 2012.

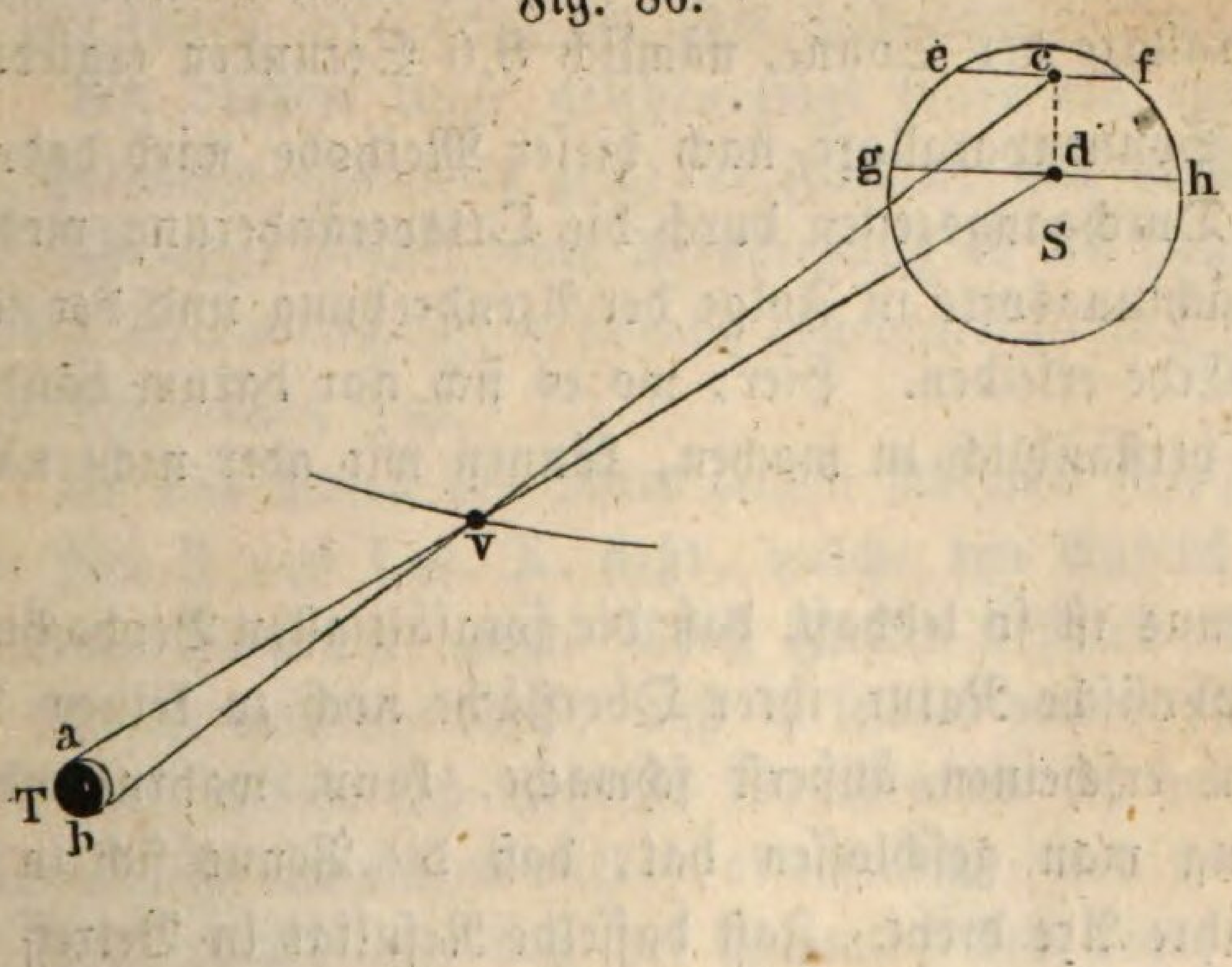
Fig. 85.



Es ist bereits oben S. 99 angeführt worden, daß die Beobachtung der Venusdurchgänge von großer Wichtigkeit für die Bestimmung der Sonnenparallaxe ist; wir wollen nun sehen, worin das Wesentliche dieser Bestimmungsmethode besteht.

Es sei *T*, Fig. 86, die Erde, *S* die Sonne und zwischen beiden stehe die Venus in *v*. Von verschiedenen Orten der Erde aus gesehen erscheint natürlich die Venus auf verschiedenen Stellen der Sonnenscheibe projicirt, z. B. von *a* aus gesehen in *d*, von *b* aus gesehen in *c*. *ef* ist der Weg, welchen die Venus, von *b* aus gesehen, auf der Sonnenscheibe zurücklegt, *gh* ist der dem Beobachtungspunkte *a* entsprechende Weg.

Fig. 86.



Der Abstand *cd* der beiden Linien *ef* und *gh* verhält sich zu *ab*, Fig. 86, wie *dv* zu *av* oder wie die Entfernung der Venus von der Sonne zu der Entfernuug der Venus von der Erde.

Bezeichnet man den Abstand der Erde von der Sonne mit 1, so ist der Abstand der Venus von der Sonne 0,723, also der Abstand der Venus von der Erde zur Zeit der unteren Conjunction 0,277; wir haben also:

$ab : cd = 0{,}277 : 0{,}723$, und daraus ergiebt sich:

$cd = 2{,}6\ ab$.

Der Abstand der beiden Linien *ef* und *gh*, in welchen, von *a* und *b* aus gesehen, die Venus vor der Sonnenscheibe hergeht, erscheint also von der Erde aus gesehen 2,6mal so groß als der Abstand *ab* der beiden Beobachtungspunkte auf der Erde von der Sonne aus gesehen.

Es kommt also nun zunächst darauf an, den Abstand *cd* zu ermitteln. Dieser ergiebt sich aber, wenn man in *a* sowohl wie in *b* die Zeitdauer beobachtet, während welcher die Venus vor der Sonnenscheibe verweilt; aus der Zeit nämlich, welche der Planet braucht, um von *a* aus gesehen die Sehne *gh* und von *b* aus gesehen die Sehne *ef* zu beschreiben, kann man auf die Länge dieser Sehnen, und da der scheinbare Durchmesser der Sonne bekannt ist, auf ihre Lage auf der Sonnenscheibe schließen, woraus sich alsdann auch der von der Erde aus gesehene Winkelabstand der beiden Sehnen ergiebt.

Nun aber ist *ab* 2,6mal kleiner als *cd* und somit ergiebt sich also auch aus diesen Beobachtungen, unter welchem Winkel, von der Sonne aus gesehen, die Sehne *ab* erscheint, woraus sich dann leicht die Horizontalparallaxe der Sonne, d. h. der Winkel ergiebt, unter welchem der Radius der Erde, von der Sonne aus gesehen, erscheint.

Am 3. Juni 1769 wurde der Venusdurchgang an vielen Orten der Erde beobachtet. Besonders günstig zur Berechnung der Sonnenparallaxe waren die Beobachtungsorte Cajanaburg in Finnland (64° 13′ nördl. Br.) und O-Taiti in der Südsee (17° südl. Br.). Am ersteren Orte betrug die Dauer des Durchganges $6^h\,11'\,40''$, am letzteren $5^h\,48'\,4''$, woraus sich der schon oben erwähnte Werth für die Horizontalparallaxe der Sonne, nämlich 8,6 Secunden ergiebt.

Die Berechnung der Sonnenparallaxe nach dieser Methode wird dadurch etwas verwickelter, daß die Durchgangszeiten durch die Ortsveränderung modificirt werden, welche die Beobachtungsorte in Folge der Axendrehung und der fortschreitenden Bewegung der Erde erleiden. Hier, wo es sich nur darum handelt, die Grundidee der Methode verständlich zu machen, können wir aber nicht näher auf diese Details eingehen.

Der Lichtglanz der Venus ist so lebhaft, daß die sorgfältigsten Beobachtungen in Beziehung auf die physische Natur ihrer Oberfläche noch zu keinem Resultate führten. Manchmal erscheinen äußerst schwache, kaum wahrnehmbare Flecke, aus deren Bewegung man geschlossen hat, daß die Venus sich in 23 Stunden 21 Minuten um ihre Axe dreht. Fast dasselbe Resultat in Betreff der

Axendrehung liefert auch die Beobachtung gewisser in regelmäßigen Perioden wiederkehrenden kleinen Veränderungen in der Gestalt der Hörner der Venussichel.

Das blendende Licht der Venussichel verliert sich allmälig gegen die Nachtseite der Venus hin; es findet hier keine scharfe Gränze zwischen Licht und Dunkel Statt, wie beim Mond, und daraus hat man geschlossen, daß auf der Venus wie auf der Erde vor dem Aufgang und nach dem Untergang der Sonne eine Dämmerung stattfinde, daß also die Venus von einer Atmosphäre umgeben sei.

Nach den Beobachtungen von Schröter sollen einzelne Venusberge fünf- bis sechsmal so hoch sein als die höchsten Gebirge der Erde.

Unter allen Planetenbahnen hat die Bahn der Venus die geringste Excentricität. Ihre mittlere Entfernung von der Sonne beträgt nahe 15 Millionen, der Unterschied zwischen ihrem größten und ihrem kleinsten Abstand von der Sonne beträgt nur 200000 Meilen.

Die Venus kann sich der Erde bis auf $5^1/_4$ Millionen Meilen nähern und sich bis auf 36 Millionen Meilen von ihr entfernen.

Der wahre Durchmesser der Venus beträgt 1717 Meilen; sie ist also fast ebenso groß wie die Erde.

Mars. Die Bahn dieses Planeten ist sehr excentrisch; seine größte Ent- 56
fernung von der Sonne ist 1,66, seine kleinste aber 1,38mal so groß als der mittlere Abstand der Erde von der Sonne. Der mittlere Abstand des Mars von der Sonne beträgt 32 Millionen Meilen. Der Erde kann sich dieser Planet bis auf $7^3/_4$ Millionen Meilen nähern und sich bis auf 55 Millionen Meilen von ihr entfernen.

Als oberer Planet kann der Mars nie zwischen Erde und Sonne zu stehen kommen, also nie einen vollständigen Phasenwechsel zeigen wie Venus und Mercur. Zur Zeit der Conjunction und der Opposition erscheint er als volle kreisförmige Scheibe, die aber bis zur Quadratur auf der von der Sonne abgewendeten Seite abnimmt, so daß um diese Zeit die Marsscheibe ungefähr so erscheint wie der Mond vier Tage vor oder nach dem Vollmond.

Mit bloßem Auge gesehen zeigt Mars ein entschieden rothes Licht. Mit dem Fernrohr betrachtet zeigt er Flecken, aus deren Bewegung man gefolgert hat, daß dieser Planet seine Axendrehung in 24 Stunden 37 Minuten vollendet. An den Polen erscheint er schwach abgeplattet. Nach Arago's Messungen beträgt diese Abplattung $^1/_{39}$.

An den Polen des Mars zeigen sich zwei sehr deutliche weiße Flecken, wie man Fig. 3 auf Tab. X. sieht, welche den Anblick des Mars durch stark vergrößernde Fernrohre zeigt. Diese Flecken nehmen abwechselnd an Größe ab und zu. Es ist wahrscheinlich, daß dieselben von großen Schnee- und Eismassen herrühren, welche sich während des Winters an den Polen anhäufen und dann während des Sommers wieder abnehmen. Aus der Beobachtung dieser Flecken hat man geschlossen, daß der Aequator des Mars einen Winkel von 28° 42′

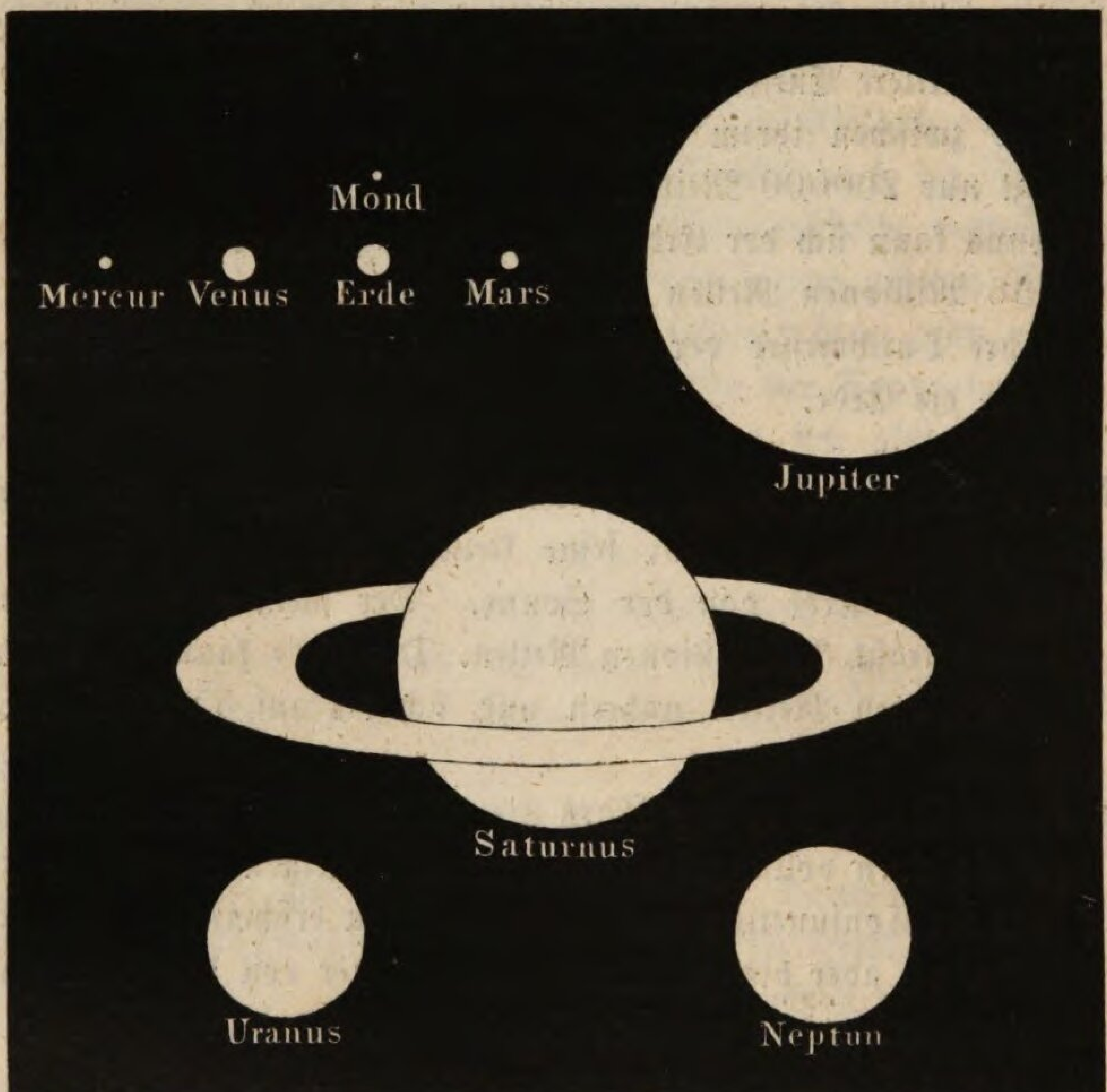
mit seiner Bahn macht; es findet also auf diesem Planeten ein Wechsel der Jahreszeiten in ähnlicher Weise Statt wie auf der Erde.

Der Durchmesser des Mars beträgt 884 Meilen.

57 **Jupiter.** Die Entfernung des Jupiter von der Sonne variirt zwischen $102^1/_2$ und zwischen $112^1/_2$ Millionen Meilen. Der Erde nähert er sich bis auf 82 Millionen und entfernt sich von ihr bis auf 133 Millionen Meilen.

Jupiter ist sehr stark abgeplattet; der Polardurchmesser ist um $^1/_{14}$ kleiner als der Aequatorialdurchmesser, welcher 20,000 Meilen beträgt, also ungefähr 11mal größer ist als der Durchmesser der Erde.

Fig. 87.



Jupiter ist unter allen Planeten der größte; sein Größenverhältniß zur Sonne ist bereits durch Fig. 62 auf Seite 100 anschaulich gemacht worden; in gleicher Weise dient Fig. 87 dazu, das Größenverhältniß des Jupiter zu den übrigen Planeten zu versinnlichen. Man sieht aus dieser Figur, daß der Größe nach auf den Jupiter der Saturn und auf diesen Neptun und Uranus folgen. Venus und Erde sind nahe gleich groß, Mars ist weit kleiner, Mercur kaum größer als unser Mond.

Mit guten Fernrohren beobachtet man auf der Jupitersscheibe parallele dunklere Streifen, deren Gestalt und Lage ziemlich veränderlich ist. Gewöhnlich sind zwei solcher Streifen gegen die Mitte der Scheibe hin besonders deutlich.

Außerdem beobachtet man oft noch Flecken, welche nach einiger Zeit wieder verschwinden. Fig. 1 und Fig. 2 auf Tab. X. zeigen das Ansehen des Jupiter, wie derselbe von Mädler und Beer am 2. Januar 1835 und am 4. Januar 1836 beobachtet wurde. Die schwärzlichen Flecken, die man in der einen Jupitersfigur auf Tab. X. bemerkt, waren vom 4. November 1834 bis zum 18. April 1835 sichtbar, während der Streifen, auf welchem sie sich befinden, im Laufe des Februar verschwand.

Aus der Beobachtung solcher Flecken ergiebt sich, daß sich Jupiter mit großer Geschwindigkeit um seine Axe dreht, und zwar vollendet er seine Axendrehung in 9 Stunden 55 Minuten. Die oben besprochenen Streifen sind dem Aequator des Jupiter parallel, welcher nur einen Winkel von 3° mit der Ebene der Jupitersbahn macht, woraus sich ergiebt, daß der Wechsel der Jahreszeiten auf diesem Planeten kaum merklich sein kann.

Die bedeutende Abplattung des Jupiter ist eine Folge seiner raschen Axendrehung.

Jupiter wird von vier Trabanten umkreist, deren nähere Betrachtung weiter unten folgt.

Saturn. Der größte Abstand dieses Planeten von der Sonne beträgt 58
$208^1/_4$, sein kleinster $186^1/_4$ Millionen Meilen. Seine Entfernung von der Erde wechselt zwischen $165^1/_2$ und 229 Millionen Meilen.

Die siderische Umlaufszeit des Saturn beträgt 29 Jahre 166 Tage 23,25 Stunden.

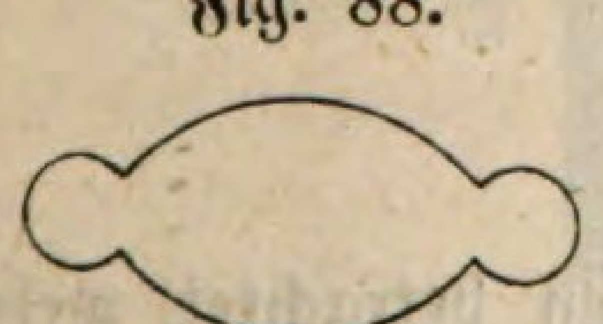
Seine Abplattung beträgt etwas weniger als $^1/_{10}$ des Aequatorialdurchmessers, welcher 16305 Meilen, also ungefähr 9mal so groß ist als der Durchmesser der Erde.

Saturn zeigt ähnliche Streifen wie der Jupiter, nur sind sie nicht so deutlich. Aus der Beobachtung einzelner Flecken hat man geschlossen, daß die Umdrehung um die Axe in $10^h\,29'$ vollendet wird. Die Ebene des Saturnäquators macht einen Winkel von $28^0\,40'$ mit seiner Bahn.

Vor allen anderen Planeten ist Saturn durch einen Ring ausgezeichnet, welcher in der Ebene des Saturnsäquators freischwebend den Planeten umgiebt. Fig. 4 auf Tab. X. stellt den Saturn mit seinem Ring dar, wie ihn sehr gute und stark vergrößernde Fernrohre zeigen. Dieser Ring ist ziemlich breit und dabei sehr dünn.

Mit bloßem Auge ist diese merkwürdige Erscheinung nicht wahrnehmbar, und die ersten Astronomen, welche den Saturn durch Fernrohre beobachteten, konnten über das wahre Wesen derselben noch nicht ins Reine kommen. Fig. 88 stellt die Abbildung dar, welche Galiläi vom Saturn gab und der ihn tergeminum oder tricorporeum nannte. Hevel stellte den Saturn als gleichsam mit zwei Henkeln versehen dar; erst Huyghens kam auf die richtige Vorstellung.

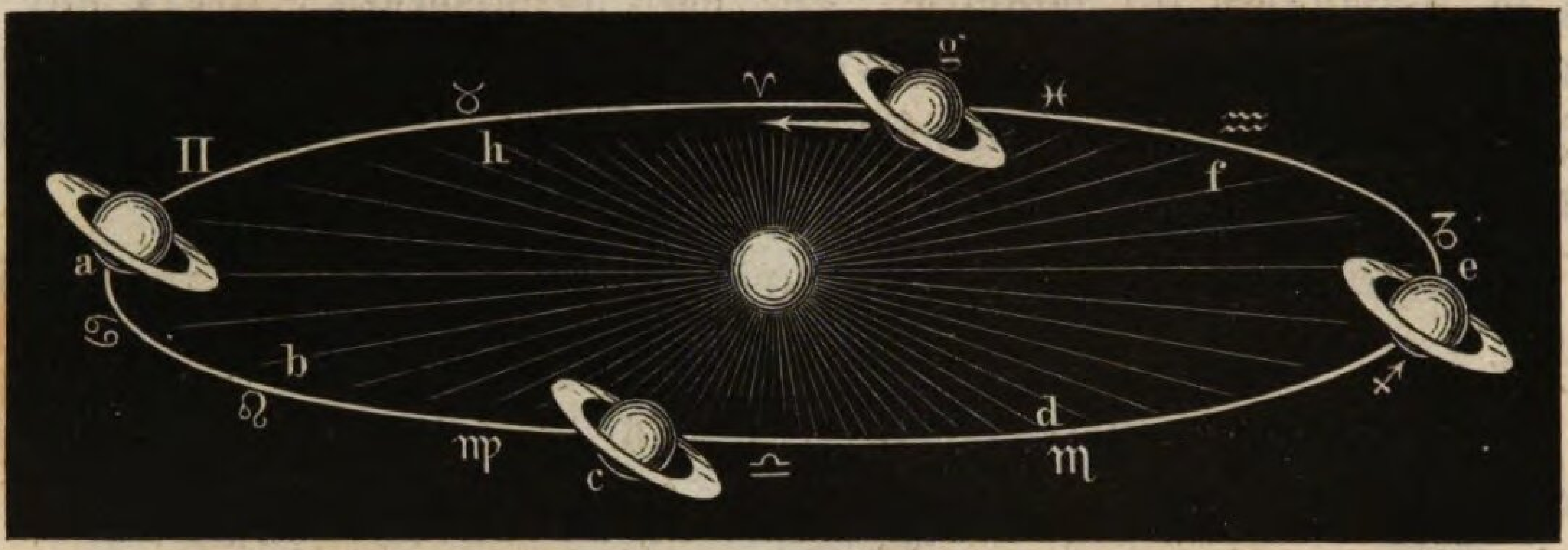
Fig. 88.



Der Anblick, welchen uns der Saturnsring darbietet, ist keineswegs stets derselbe; denn die Umdrehungsaxe des Saturn behält im Weltraume stets dieselbe Richtung, wie dies ja auch bei der Erdaxe der Fall ist, folglich wird die Ebene des Saturnsringes stets parallel mit sich selbst verschoben, wie dies Fig. 89 dargestellt ist.

Wenn die heliocentrische Länge des Saturn ungefähr 344° ist, wenn er also ungefähr in der Mitte des Zeichens der Fische sich befindet (bei *g*, Fig. 89), so liegt die Sonne in der verlängerten Ringebene; von der Sonne aus ge-

Fig. 89.



sehen wird also der Ring des Saturn zur Linie verkürzt erscheinen. Bewegt sich nun der Planet in der Richtung des Pfeiles weiter, so wird man alsbald von der Sonne aus auf die Nordseite des Ringes sehen können; er erscheint zunächst als eine flache Ellipse, deren kleine Axe mehr und mehr wächst, bis sie endlich ihr Maximum erreicht, wenn Saturn ungefähr in der Mitte des Zeichens der Zwillinge, also bei *a*, Fig. 89, steht.

Der Ring verschwindet wieder, wenn Saturn im Zeichen der Jungfrau steht; er erscheint wieder in seiner größten Breite, wenn der Planet in der Mitte des Zeichens des Schützen angelangt ist.

Die Erde steht der Sonne im Verhältniß zum Halbmesser der Saturnsbahn so nahe, daß von ihr aus der Saturnsring fast ebenso gesehen wird, wie er von der Sonne aus gesehen erscheint.

Da die siderische Umlaufszeit des Saturn fast 30 Jahre beträgt, so wird einem vollständigen Cyclus der Ringgestalten ein Zeitraum von 30 Jahren entsprechen.

Fig. 90 und Fig. 91 stellen die wesentlichsten Veränderungen der Ringgestalt während eines Umlaufs des Saturn dar, und zwar mit Angabe der Jahre, in welchen er zunächst diese Gestalten annehmen wird. Im Jahre 1855 erscheint der Ring so ziemlich in seiner größten Breite; im Jahre 1863 erscheint er uns zur Linie verkürzt und von da an bis 1877, wo der Ring abermals verschwindet, sehen wir auf seine südliche Fläche.

Bis jetzt hat man 8 Saturnstrabanten entdeckt.

59 **Uranus.** Wir haben bis jetzt nur diejenigen Planeten betrachtet, welche mit bloßem Auge sichtbar sind. Selbst nachdem die Fernrohre erfunden waren, dauerte es noch geraume Zeit, bis sie zur Entdeckung neuer Planeten führten.

Fig. 90.

1855. 1859. 1863. 1866.

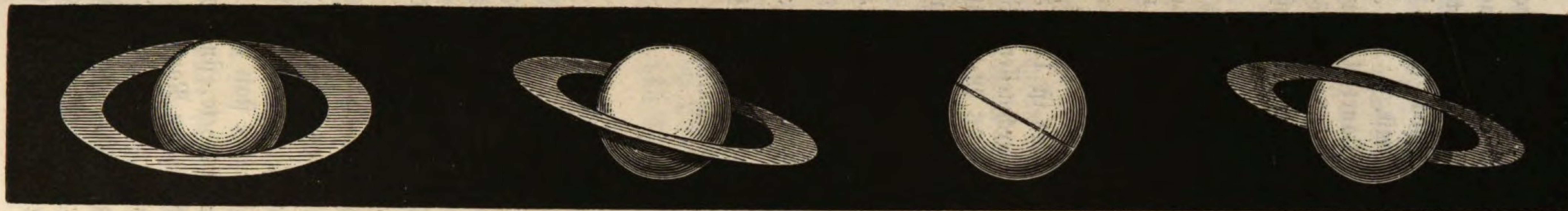
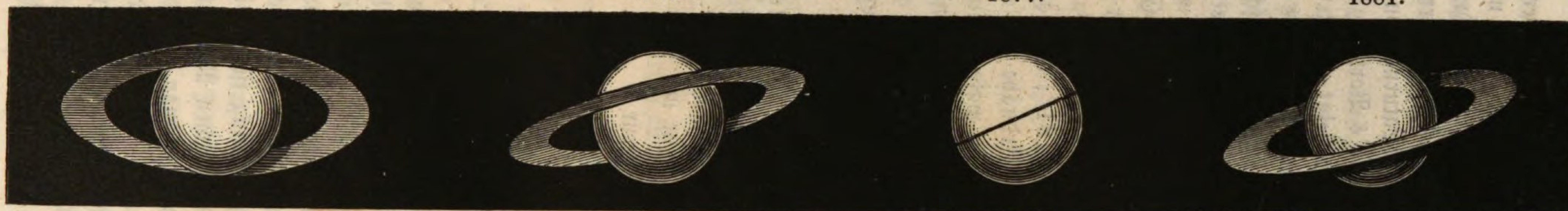


Fig. 91.

1870. 1874. 1877. 1881.



Am 13. März 1781 beobachtete Herschel im Bilde der Zwillinge einen Stern, der sich durch einen merklichen Durchmesser auszeichnete und schon am nächsten Abend eine kleine Ortsveränderung zeigte. Es stellte sich durch fortgesetzte Beobachtung dieses Sternes alsbald heraus, daß er ein Planet sei, welcher noch jenseits der Saturnsbahn um die Sonne kreist.

Nach Bode's Vorschlag wurde der neue Planet Uranus (♅) genannt.

Uranus erscheint höchstens als ein Stern sechster Größe und nur durch ganz ausgezeichnete Fernrohre erscheint sein Durchmesser groß genug, um ihn von einem Fixsterne zu unterscheiden.

Die siderische Umlaufszeit des Uranus beträgt 84 Jahre 5 Tage 19 Stunden 41,6 Minuten. Seine mittlere Entfernung von der Sonne ist 19,18mal so groß als der Abstand der Erde von der Sonne oder 396$^1/_2$ Millionen Meilen. Die Excentricität seiner Bahn ist 0,0466.

Die Neigung seiner Bahn ist nur 46,5′; die Länge des aufsteigenden Knotens 72° 59′ 21″; die Länge des Periheliums ist 167° 30′ 24″.

In seiner Erdnähe ist sein scheinbarer Durchmesser 4,3″ und daraus ergiebt sich, daß sein wahrer Durchmesser gleich 7466 Meilen ist.

Zwei auf einander folgende Oppositionen des Uranus sind am Himmel nur um 4$^1/_2$ Grad von einander entfernt.

Uranus ist gleichfalls von mehreren Trabanten umkreist, welche später näher betrachtet werden sollen.

60 **Die kleinen Planeten.** Wenn man die Abstände der älteren Planeten von der Sonne aufmerksam betrachtet, so findet man zwischen Mars und Jupiter eine auffallende Lücke. Bezeichnet man nämlich den Abstand des Mercur von der Sonne mit 4, so hat man für

Mercur . . .	4			
Venus . . .	7,5	also	nahezu	$4 + 1 \times 3$
Erde . . .	10,3	»	»	$4 + 2 \times 3$
Mars . . .	15,7	»	»	$4 + 4 \times 3$
Jupiter . . .	53,7	»	»	$4 + 16 \times 3$
Saturn . . .	98,3	»	»	$4 + 32 \times 3$.

In obiger Reihe der Factoren von 3 ist jeder folgende doppelt so groß als der vorhergehende, nur fehlt zwischen 4×3 (Mars) und 16×3 (Jupiter) das Glied 8×3. Diese Lücke, welche schon Kepler auffiel, veranlaßte unter den Astronomen die Hoffnung, zwischen Mars und Jupiter einen neuen Planeten aufzufinden. Namentlich war es Bode, welcher diese Ansicht vertrat.

Diese Hoffnung ist verwirklicht worden; aber statt eines einzigen Planeten, welchen man zwischen Mars und Jupiter vermuthete, sind ihrer bereits *26* entdeckt worden, die man mit dem gemeinschaftlichen Namen der kleinen Planeten oder der Planetoiden bezeichnete.

Am 1. Januar 1801 erblickte Piazzi zu Palermo einen kleinen Stern im Sternbild des Widders, der alsbald eine merkliche Ortsveränderung zeigte und den er zuerst für einen Kometen hielt, dessen planetarische Natur sich aber

bald herausstellte; Piazzi legte dem neu entdeckten Planeten den Namen Ceres (⚳) bei.

Ceres unterscheidet sich im Ansehen nicht von einem teleskopischen Sterne siebenter bis neunter Größe; ihr scheinbarer Durchmesser ist so gering, daß man ihn mit Sicherheit noch nicht bestimmen konnte.

Schon am 28. März 1802 entdeckte Olbers in Bremen einen zweiten zwischen Mars und Jupiter kreisenden Planeten, den er Pallas (⚴) nannte. Dieser Entdeckung folgte am 1. September 1804 die der Juno (⚵) durch Harding in Lilienthal und der Vesta (⚶) am 29. März 1807 durch Olbers.

Für weitere Entdeckungen von Planeten sind zuverlässige Sternkarten, welche wenigstens die Thierkreiszone umfassen und auch wenigstens die größeren der teleskopischen Sterne enthalten, von großer Wichtigkeit. So entdeckte Driesen am 8. December 1845 durch Vergleichung des Himmels mit den ausgezeichneten Sternkarten der Berliner Akademie die Asträa und am 1. Juli 1847 die Hebe. Hind in London entdeckte am 13. August 1847 die Iris und am 18. October desselben Jahres die Flora.

Auch die Bahnen dieser vier neuen Planeten, gleich den später noch entdeckten, Metis, Victoria, Egeria, Eunomia, Melpomene, Hygiea, Parthenope, Irene, Psyche, Thetis, Fortuna, Massalia, Lutetia, Calliope, Thalia, Themis, Phocea und Proserpina, liegen zwischen den Bahnen des Mars und des Jupiter.

Alle diese Planeten sind teleskopisch. Für die meisten derselben ist es noch nicht gelungen, den scheinbaren Durchmesser mit Sicherheit zu messen. Der wahre Durchmesser der Vesta ist nach Mädler's Messungen 66 Meilen ($^1/_7$ des Monddurchmessers). Nach Lamont's Beobachtungen ist der Durchmesser der Pallas nicht mehr als 145 Meilen. Juno hat schwerlich über 80 Meilen im Durchmesser.

Unter diesen kleinen Planeten hat Flora den kleinsten, und Hygiea den größten mittleren Abstand von der Sonne; ersterer ist 2,20, letzterer 3,15, wenn man den Abstand der Erde von der Sonne gleich 1 setzt.

Die Bahnen dieser kleinen Planeten sind meistens sehr stark excentrisch; so ist z. B. die Excentricität der Iris 0,227, die der Juno 0,255, die der Pallas 0,242. Die geringste Excentricität 0,077 hat die Bahn der Ceres.

Die Neigung der Bahn gegen die Ekliptik ist bei den kleinen Planeten meistens sehr beträchtlich; sie ist z. B.

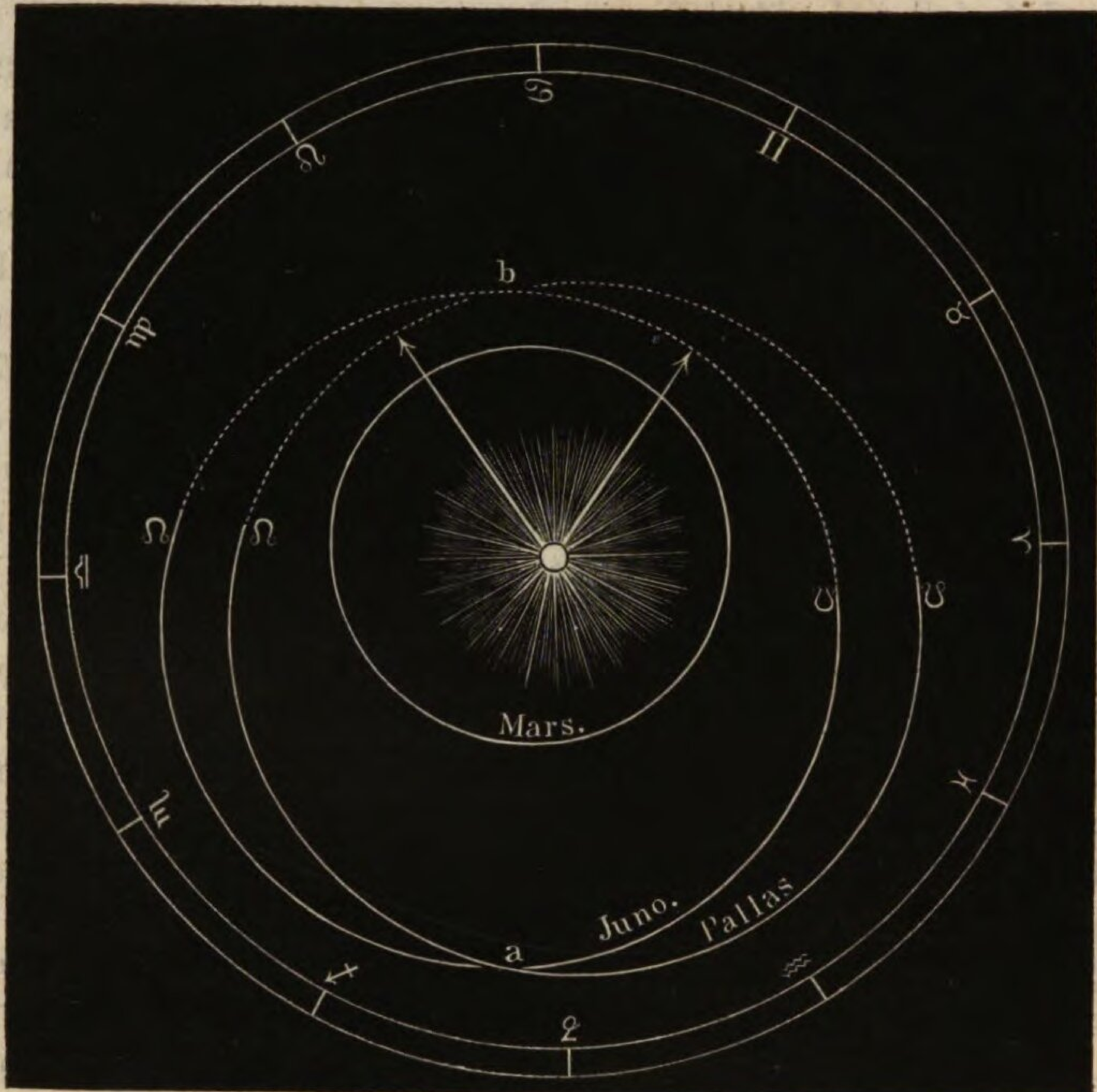
für Flora . . .	5° 53′	für Juno . . .	13° 2′
» Ceres . . .	10 37	» Pallas . .	34 35.

Deshalb entfernen sich auch die scheinbaren Bahnen der Planetoiden oft sehr weit von der Ekliptik; so durchlief z. B. Pallas im Jahre 1852 vom 27. Grad südlicher Declination an die Sternbilder Eridanus, Orion, kleiner Hund, Wasserschlange, Sextant und Jungfrau.

Aus den angegebenen Verhältnissen ersieht man schon, daß die Bahnen der kleinen Planeten sich nicht einander einschließen können, wie z. B. die Bahn der Venus die des Mercur, und die Bahn der Erde wieder die der Venus ein-

schließt, sondern es finden mannigfache Verschlingungen dieser Bahnen Statt, wie man aus Fig. 92 sieht, welche die Bahnen der Juno und der Pallas darstellt.

Fig. 92.



Bei *a* läuft die Bahn der Pallas nördlich über, bei *b* läuft sie südlich unter der Bahn der Ceres her, so daß sich die beiden Bahnen förmlich durchschlingen.

Es ist die Vermuthung ausgesprochen worden, daß die Planetoiden Trümmer eines größeren Planeten seien, eine Meinung, welche bis jetzt weder bestätigt noch widerlegt werden konnte.

61 **Neptun.** Zu den schönsten Triumphen der Wissenschaft gehört die Entdeckung des Neptun (♆), welcher noch jenseits des Uranus um die Sonne kreist. Die Entdeckungsgeschichte dieses Planeten können wir erst später besprechen, wenn von der gegenseitigen Massenanziehung der Planeten die Rede sein wird. Die halbe große Axe seiner Bahn ist ungefähr 36,154 und seine Umlaufszeit 217,4 Jahre. Da er erst im Jahre 1846 entdeckt worden ist, und man ihn also bis jetzt nur in einem sehr kleinen Theil seiner Bahn beobachten konnte, so kann man die übrigen Elemente seiner Bahn noch nicht mit hinlänglicher Genauigkeit angeben.

Neptun erscheint ungefähr wie ein Stern achter Größe; in jedem Jahre rückt er am Himmel ungefähr um 2° voran. Sein scheinbarer Durchmesser ist

ungefähr 2,5″; demnach wäre sein wahrer Durchmesser 8400 Meilen, während sein Abstand von der Sonne 744 Millionen Meilen beträgt.

Auch ein Trabant des Neptun ist bereits aufgefunden worden.

Sternschnuppen, Feuerkugeln und Meteorsteine. Eine allgemein 62
bekannte Erscheinung, welche deshalb auch keine weitere Beschreibung bedarf, sind die Sternschnuppen. Durch correspondirende Beobachtungen hat man ermittelt, daß die Höhe der Sternschnuppen 34 bis 35 Meilen beträgt, und daß sie sich mit einer Geschwindigkeit von 4 bis 8 Meilen in der Secunde bewegen.

Eine höchst merkwürdige Erscheinung sind die periodisch wiederkehrenden Sternschnuppenschwärme, welche man in der Zeit vom 12.—14. November und am 10. August (dem Feste des heiligen Laurentius) beobachtet; das letztere Phänomen wird in England schon in einem alten Kirchenkalender, unter dem Namen der feurigen Thränen des heiligen Laurentius, als eine wiederkehrende Erscheinung erwähnt. Einer der bedeutendsten Sternschnuppenschwärme wurde den 12.—13. November 1833 in Nordamerika beobachtet, wo die Sternschnuppen fast wie Schneeflocken zusammengedrängt erschienen, so daß innerhalb 9 Stunden 240000 fielen.

Die Feuerkugeln scheinen mit den Sternschnuppen gleichen Ursprungs und gleicher Natur zu sein und sich nur durch die Größe der Erscheinung von einander zu unterscheiden. Bei den großen Sternschnuppenschwärmen sah man Feuerkugeln unter den Sternschnuppen.

Die Feuerkugeln zerplatzen unter großem Getöse und lassen dann Steinmassen herabfallen, welche unter dem Namen Meteorsteine oder Aërolithen bekannt sind. Auch bei Tage hat man solche Meteorsteine aus kleinen graulichen Wolken ebenfalls unter starkem Getöse herabfallen sehen.

Die frisch gefallenen Meteorsteine sind noch heiß und in Folge der Geschwindigkeit des Falles mehr oder weniger tief in den Boden eingedrungen.

Gegen Ende des vorigen Jahrhunderts war man sehr geneigt, das Herabfallen von Steinmassen aus der Luft für Mährchen zu erklären; seitdem aber haben sich Meteorsteinfälle ereignet, welche von mehreren Personen beobachtet und durch sachkundige Männer gehörig constatirt wurden. Dahin gehört besonders der Meteorsteinfall am 26. April 1803 bei Aigle im Departement de l'Orne, welchen Biot untersuchte, und der am 22. Mai 1808 zu Stannern in Mähren. Am 13. November 1835 (also zur Zeit der Sternschnuppenperiode) wurde im Departement Ain durch einen Aërolithen ein Haus angezündet.

Die Meteorsteine haben eine eigenthümliche Physiognomie, wodurch sie sich von allen irdischen Fossilien unterscheiden; dennoch aber sind sie unter einander wieder so verschieden, daß Chladni, welcher sich soviel mit diesem Gegenstande beschäftigte, es für schwierig hielt, einen allgemeinen Charakter anzugeben; besonders charakteristisch ist aber doch wohl der Gehalt an gediegenem Eisen, und eine pechartig glänzende, zuweilen geäderte Rinde, welche fast nie fehlt. Eine weitere Beschreibung würde uns zu tief in mineralogische Details führen.

Man hat an verschiedenen Orten Steinmassen auf dem Boden gefunden, welche den Gebirgssystemen jener Gegenden ganz fremd sind, die aber mit notorischen Meteorsteinen die größte Aehnlichkeit haben, und ist deshalb berechtigt, auch diese für Aërolithen zu halten.

Die Masse der Meteorsteine ist oft sehr groß.

Eines der Bruchstücke, welche zu Aigle im Jahre 1803 fielen, wog 17 Pfd. Im Jahre 1751 fiel bei Hradschma im Agramer Comitat ein 71 Pfd. schwerer Meteorstein. Eine im Jahre 1814 zu Lenarto in Ungarn aufgefundene Meteorsteinmasse wog 194 Pfd. Eine in Sibirien aufgefundene, von Pallas beschriebene Masse von Meteoreisen wog 1400 Pfd., in Mexico fand man solche, welche 300 bis 400 Centner wogen.

Es ist kaum mehr zu bezweifeln, daß die Sternschnuppen, Feuerkugeln und Meteorsteine kosmischen Ursprungs, daß sie höchst wahrscheinlich Massen sind, welche wie die Planeten um die Sonne kreisen und, in die Anziehungssphäre der Erde gerathend, herabfallen. Die Feuer- und Lichterscheinung erklärt sich am einfachsten durch die Annahme, daß diese kleinen Weltkörper mit einer Atmosphäre brennbarer Gase umgeben sind, welche sich beim Eintritte in die sauerstoffhaltige Atmosphäre der Erde entzündet. Wenn man annimmt, daß außer unzähligen einzeln um die Sonne kreisenden Massen der Art ganze Schwärme derselben einen Ring um die Sonne bilden, daß die Ebene eines solchen Ringes an einer bestimmten Stelle die Erdbahn schneidet, so erklären sich dadurch die periodischen Sternschnuppenfälle.

Fünftes Capitel.

Die Satelliten.

Scheinbare Bahn des Mondes. Nächst der Sonne ist für uns unstreitig der Mond das wichtigste aller Gestirne. Wie die Sonne schreitet er in der Richtung von West nach Ost unter den Sternen des Thierkreises fort, aber weit rascher als die Sonne, indem er von einem Tag zum anderen fast um 13 Grade in der angegebenen Richtung vorrückt. 63

Fig. 93 (a. f. S.) stellt die scheinbare Bahn des Mondes vom 1. bis zum 27. Januar 1855 dar. Man sieht zunächst daraus, daß der Mond stets rechtläufig ist und daß in seiner Bahn keine Schlingen und Schleifen vorkommen, wie wir sie bei den Planetenbahnen beobachteten.

Die scheinbare Bahn des Mondes bildet (wenn man vor der Hand von kleinen Abweichungen absieht) einen größten Kreis an der Himmelskugel, welche die Ekliptik in zwei Punkten, den Knoten, schneidet. In unserer Figur sehen wir den aufsteigenden Knoten bei *c*, den niedersteigenden bei *d*.

Da die zweite Ungleichheit bei der scheinbaren Mondbewegung ganz fehlt da sie uns eben so einfach erscheint, wie die Bewegung der verschiedenen Planeten von der Sonne aus gesehen, so ist klar, daß der Mond um die Erde kreist. Die siderische Umlaufszeit des Mondes, d. h. die Zeit, in welcher der Mond einen vollen Umlauf um die Erde vollendet, beträgt 27 Tage 7^h $43'$ $11{,}5''$.

Der Mond kommt mit der Sonne sowohl in Conjunction als auch in Opposition. Diese beiden Stellungen des Mondes zur Sonne werden mit dem gemeinschaftlichen Namen der Syzygien bezeichnet.

Die synodische Revolution oder die synodische Umlaufszeit des Mondes ist die Zeit, welche zwischen zwei auf einander folgenden Conjunctionen des Mondes und der Sonne verstreicht. Sie ist größer wie die siderische Umlaufszeit; denn während der Mond, von einer Conjunction mit der Sonne aus-

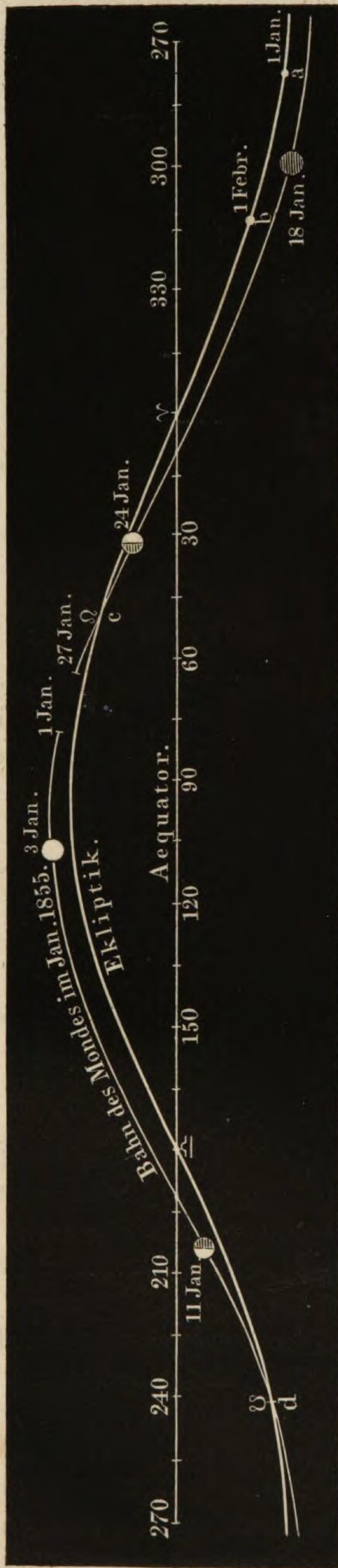
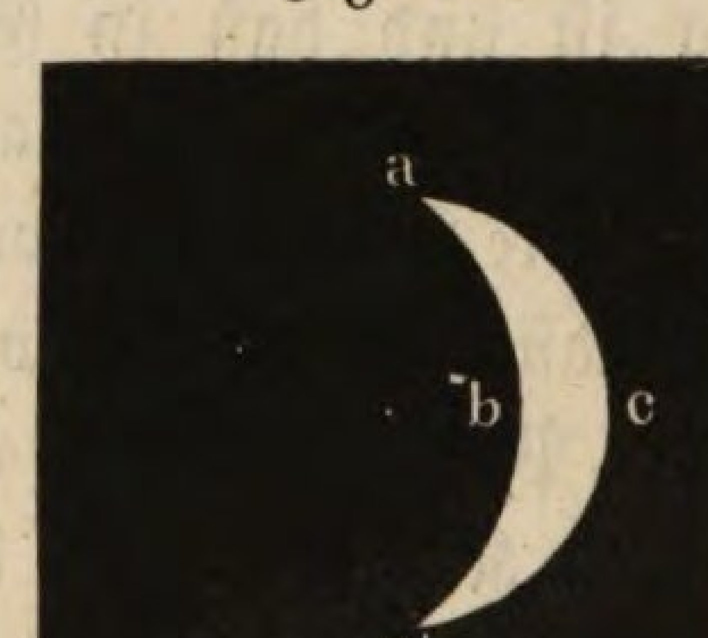


Fig. 93.

gehend, einen vollen Umlauf von 360⁰ zurücklegt, ist die Sonne auch weiter nach Osten fortgerückt, der Mond muß also über die 360⁰ hinaus sich noch weiter fortbewegen, um die Sonne wieder einzuholen. Die synodische Revolution des Mondes beträgt 29 Tage $12^h\ 44'\ 2{,}9''$.

64 **Phasen des Mondes.** Je nach den verschiedenen Stellungen des Mondes zur Sonne bietet er uns verschiedene Anblicke dar, welche man mit dem Namen der *Phasen* bezeichnet. Der Mond selbst ist dunkel; alles Licht, welches er uns zusendet, ist reflectirtes Sonnenlicht; der Anblick des Mondes muß sich also ändern, je nachdem er uns mehr die dunkle oder die erleuchtete Seite zuwendet. Befindet sich der Mond mit der Sonne in Conjunction, so ist er uns vollkommen unsichtbar, wenn er nicht gerade unmittelbar vor der Sonnenscheibe steht. Es ist dies der *Neumond*. Alsbald entfernt sich der Mond nach Osten hin von der Sonne und erscheint uns nun als eine Sichel, Fig. 94, deren Wölbung gegen die

Fig. 94.



Sonne, also gegen Westen gekehrt ist. Anfangs ist die Sichel ganz schmal; sie wird aber allmälig breiter und wenn der Mond in Quadratur ist, so erscheint er uns wie ein leuchtender Halbkreis, Fig. 95. Es ist dies das *erste Viertel*. Der erleuchtete Theil des Mondes wächst nun immer noch, Fig. 96, bis er uns endlich zur Zeit der Opposition als eine volle kreisförmige glänzende Scheibe erscheint, Fig. 97. Es ist dies der *Vollmond*.

Bald nach der Opposition nimmt der Mond auf der Westseite ab, Fig. 98, bis er in der zweiten Quadratur wieder nur halb erscheint, aber jetzt die gewölbte

Fig. 95.

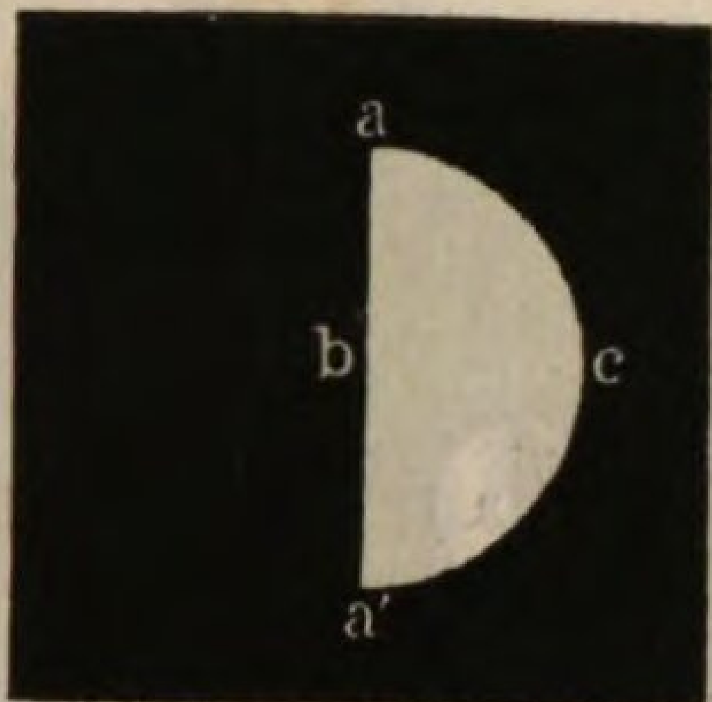


Fig. 96.

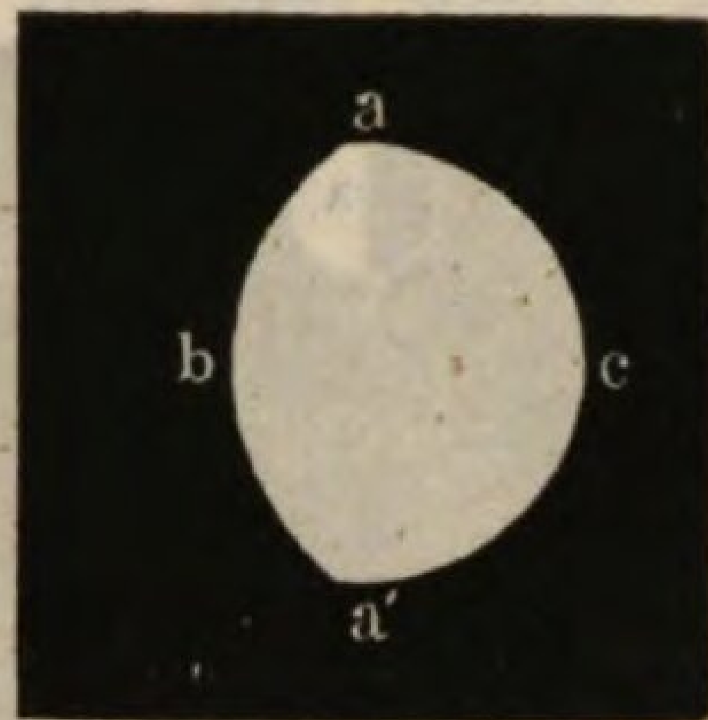


Fig. 97.

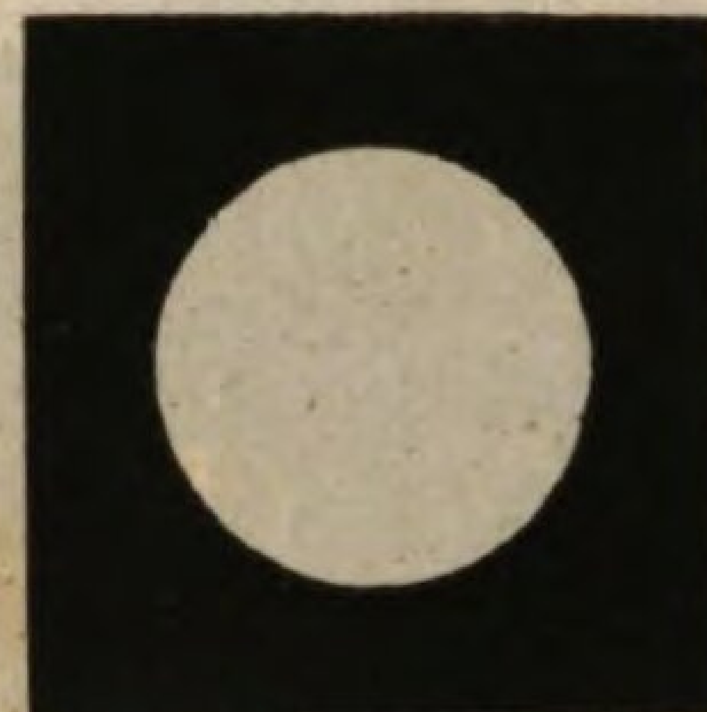


Fig. 98.

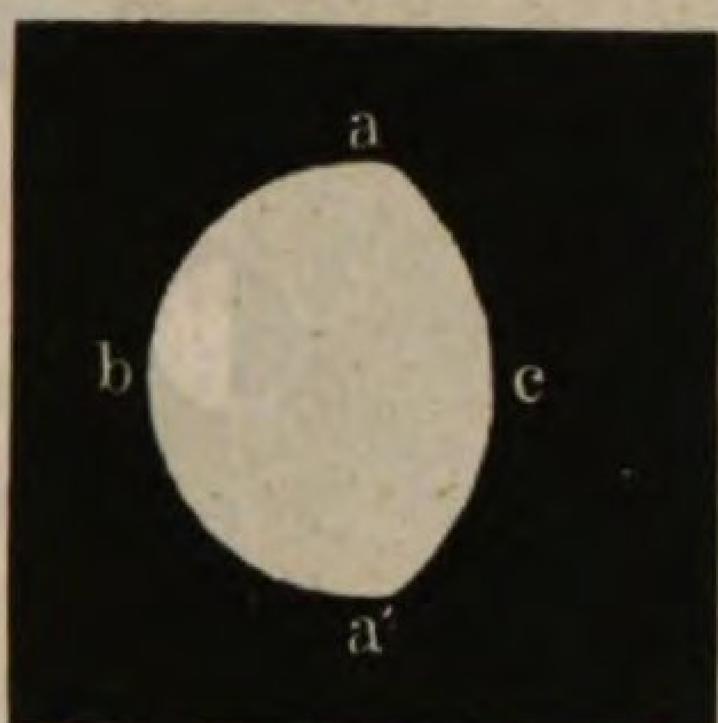


Fig. 99.

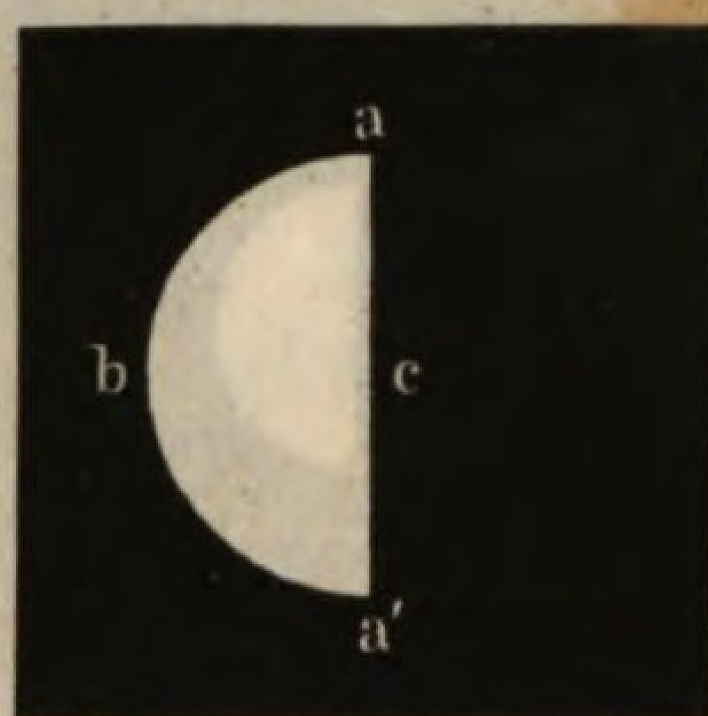
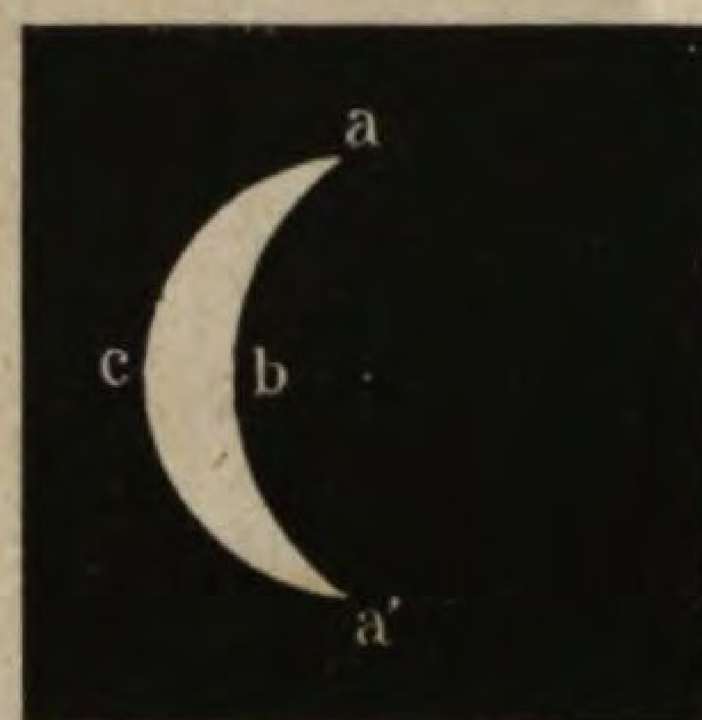


Fig. 100.



Seite nach Osten kehrend, Fig. 99. Es ist dies das letzte Viertel. Nun wird die Sichel, ihre Wölbung immer noch nach Osten kehrend, wieder schmäler und schmäler, Fig. 100, bis sie endlich zur Zeit des Neumondes wieder ganz verschwindet.

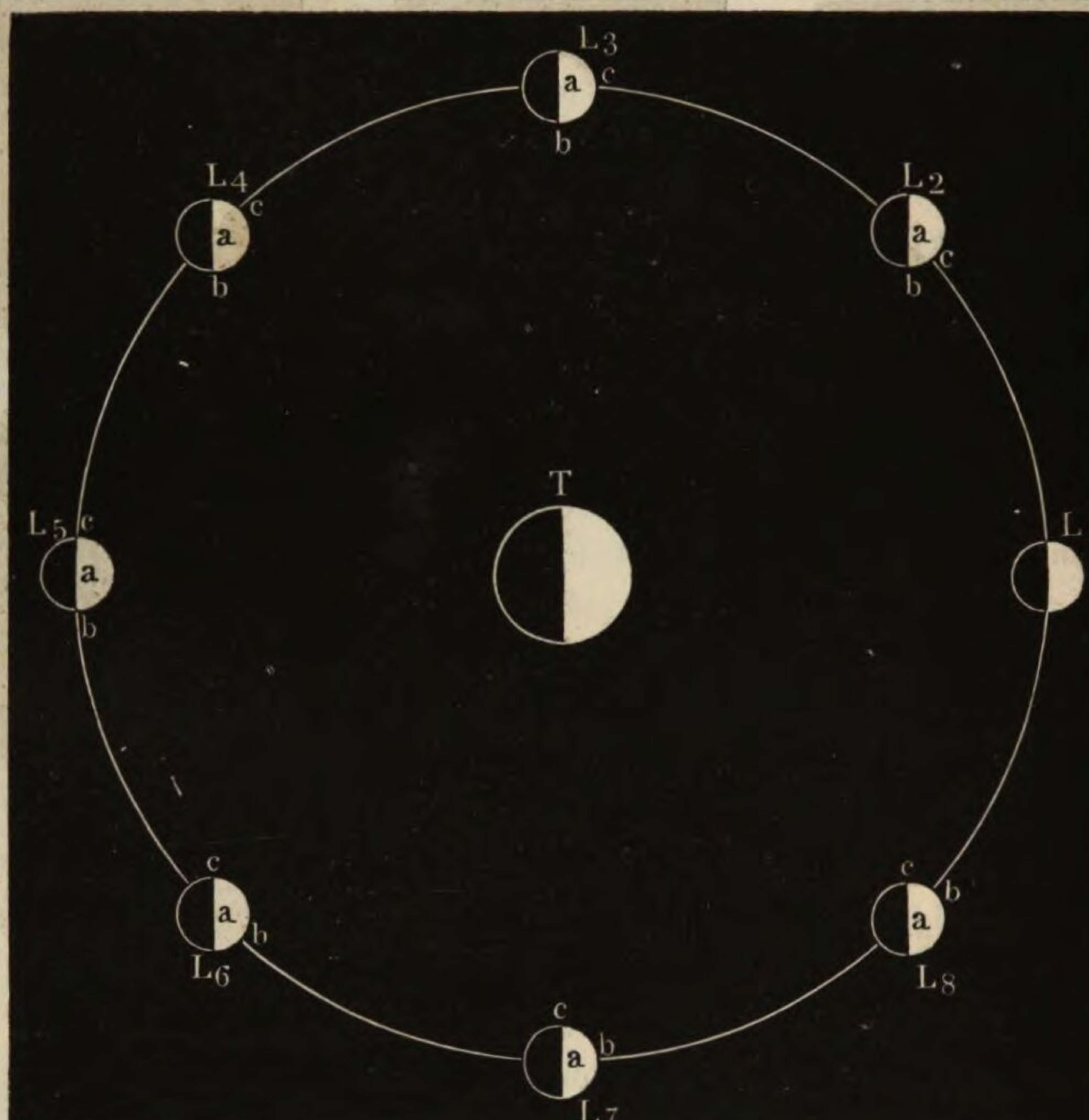
Es ist leicht, die Phasen des Mondes zu erklären. In Fig. 101 (a. f. S.) sei T die Erde, $L_1, L_2, L_3 \ldots L_8$ der Mond in acht verschiedenen Stellungen, welche er während eines Umlaufes um die Erde passirt. Nehmen wir an, die Sonne befände sich auf der rechten Seite unserer Figur und zwar in großer Entfernung. Wenn der Mond sich in L_1, also zwischen der Erde und der Sonne befindet, so wendet er der Erde seine dunkle Seite zu, wir haben Neumond; ist aber der Mond in die Stellung L_2 gelangt, so erscheint er uns in der Gestalt Fig. 94, denn in dieser Stellung ist der uns sichtbare Theil der erleuchteten Mondhälfte begränzt durch den Halbkreis $a c a'$ (a bezeichnet den Gipfelpunkt des Mondes, a' den tiefsten, welcher in Fig. 101 nicht sichtbar ist, weil er vertikal unter a liegt) und durch den Halbkreis $a b a'$. Ersterer erscheint uns als voller Halbkreis, die westliche Gränze der Mondscheibe bildend; letzterer aber, die Ostgränze bildend, zur Ellipse verkürzt, welche gleichfalls ihre Wölbung nach Westen kehrt.

Ist der Mond in die Stellung L_3 gelangt, so erscheint die westliche Gränze noch immer als ein voller Halbkreis. Der Halbkreis $a\ b\ a'$ aber, welcher auf der uns zugekehrten Mondhälfte Licht und Schatten scheidet, erscheint uns zur geraden Linie verkürzt; wir sehen also den Mond in der Gestalt Fig. 95.

Wird der Winkelabstand des Mondes von der Sonne noch größer, kommt er in die Stellung L_4, so erscheint uns nun die Gränzlinie $a b a'$ wieder elliptisch; aber die Wölbung jetzt nach Osten kehrend, während die westliche Gränze des Mondes noch immer ein voller Halbkreis ist, Fig. 96.

Zur Zeit der Opposition ist uns die ganze erleuchtete Hälfte des Mondes zugekehrt, er erscheint uns also als eine volle kreisförmige helle Scheibe.

Fig. 101.



Nach diesen Auseinandersetzungen hat es wohl keine Schwierigkeit mehr, die Mondgestalten Fig. 98, 99, 100 aus den Stellungen bei L_6, L_7 und L_8 abzuleiten.

Wegen der so schnellen eigenen Bewegung des Mondes ändert sich auch die Zeit seines Auf- und Unterganges sehr rasch; an jedem folgenden Tage geht der Mond fast eine Stunde später auf als am vorhergehenden.

Die Stunden des Auf- und Unterganges des Mondes stehen mit seinen Phasen in engster Beziehung. Zur Zeit des Neumondes gehen Mond und Sonne zusammen auf und unter; der Mond ist also während des Tages — über, während der Nacht — unter dem Horizont, die Nächte sind zur Zeit des Neumondes nicht durch Mondschein erhellt.

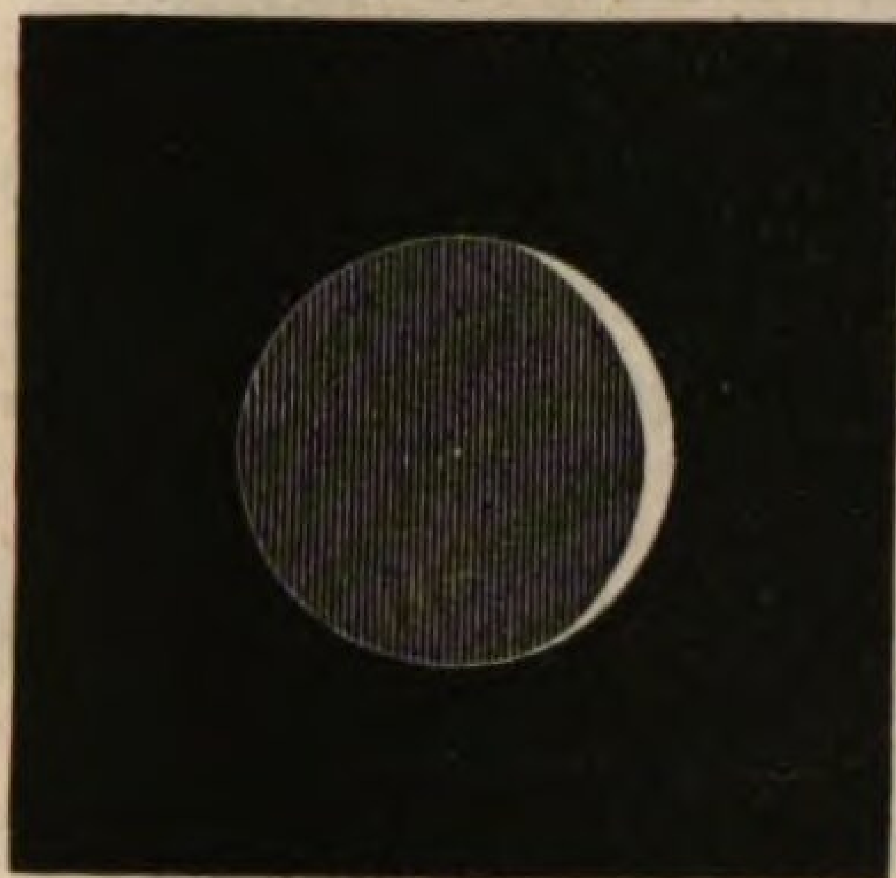
Zur Zeit des Vollmondes dagegen findet der Aufgang des Mondes ungefähr zur Zeit des Sonnenunterganges Statt; der Vollmond leuchtet uns also die ganze Nacht hindurch.

Zur Zeit des ersten Viertels culminirt der Mond ungefähr wenn die Sonne untergeht, der Untergang des Mondes findet alsdann um Mitternacht Statt; das erste viertel glänzt also am westlichen Himmel in der ersten Hälfte der Nacht.

Zur Zeit des letzten Viertels findet der Aufgang des Mondes um Mitternacht Statt, das letzte Viertel erhellt also die letzte Hälfte der Nacht.

Wenn der Mond der Conjunction sehr nahe ist, wenn er uns also nur als eine ganz schmale Sichel erscheint, so ist der Rest der Mondscheibe nicht völlig dunkel, sondern man sieht ihn durch einen schwachen aschfarbigen Schimmer erhellt, wie Fig. 102 andeutet.

Fig. 102.



Es ist dies nicht etwa ein dem Monde eigenthümliches Licht, sondern es rührt daher, daß zur Zeit des Neumondes die ganze von der Sonne erleuchtete Erdhälfte gerade dem Monde zugekehrt ist. Die Mondnacht ist zu dieser Zeit durch den vollen Erdschein erleuchtet.

Gestalt der Mondsbahn. Der scheinbare Durchmesser des Mondes 65
variirt zwischen 29′ und 34′, die Entfernung des Mondes von der Erde ist also veränderlich und ebenso ist auch die Winkelgeschwindigkeit des Mondes in seiner scheinbaren Bahn nicht gleichförmig. Unter genauer Berücksichtigung aller dieser Umstände ergiebt sich, daß die Bahn des Mondes in Beziehung auf die Erde eine Ellipse ist; die Excentricität der Mondsbahn beträgt ungefähr $^1/_{18}$ der halben großen Axe.

Die Ebene der Mondsbahn macht im Mittel einen Winkel von 5° 9′ mit der Ekliptik.

Die Bewegung des Mondes um die Erde, welche nach dem Gesagten ziemlich einfach erscheint, ist aber in der That sehr verwickelt, weil die Elemente der Mondsbahn sich sehr rasch ändern.

Die auffallendste Veränderung in den Elementen der Mondsbahn ist zunächst die rasche Verschiebung der Knoten. Die Bewegung der Knotenlinie ist rückläufig und vollendet ihren ganzen Umlauf ungefähr in 18 Jahren 219 Tagen; die Ebene der Mondsbahn dreht sich also gegen die Ordnung der Zeichen in einem Jahre etwas über 19°. So ist die Länge des aufsteigenden Knotens im Januar 1855 ungefähr 49° (*c*, Fig. 93). Bis zum Januar 1856 rückt der aufsteigende Knoten ungefähr um 19° dem Frühlingspunkte näher, so daß um diese Zeit seine Länge ungefähr nur noch 30° sein wird. Ungefähr in der Mitte des Jahres 1857 erreicht der aufsteigende Knoten der Mondsbahn den Frühlingspunkt; der niedersteigende Knoten fällt alsdann mit 0 ♎ zusammen.

Zu jener Zeit, wo der aufsteigende Knoten der Mondsbahn wie im Jahre 1857 mit 0 ♈, der absteigende aber mit 0 ♎ zusammenfällt, wird sowohl die nördliche als auch die südliche Declination ein Maximum; denn der Winkel, welchen die Mondsbahn mit dem Himmelsäquator macht, ist alsdann gleich dem Winkel, welchen die Mondsbahn mit der Ekliptik macht, + dem Winkel zwischen Ekliptik und Aequator, also 23° 28′ + 5° 9′ = 28° 37′. Die Mondsbahn geht alsdann von 0 ♈ (siehe die Sternkarte Tab. IV.) über die Plejaden

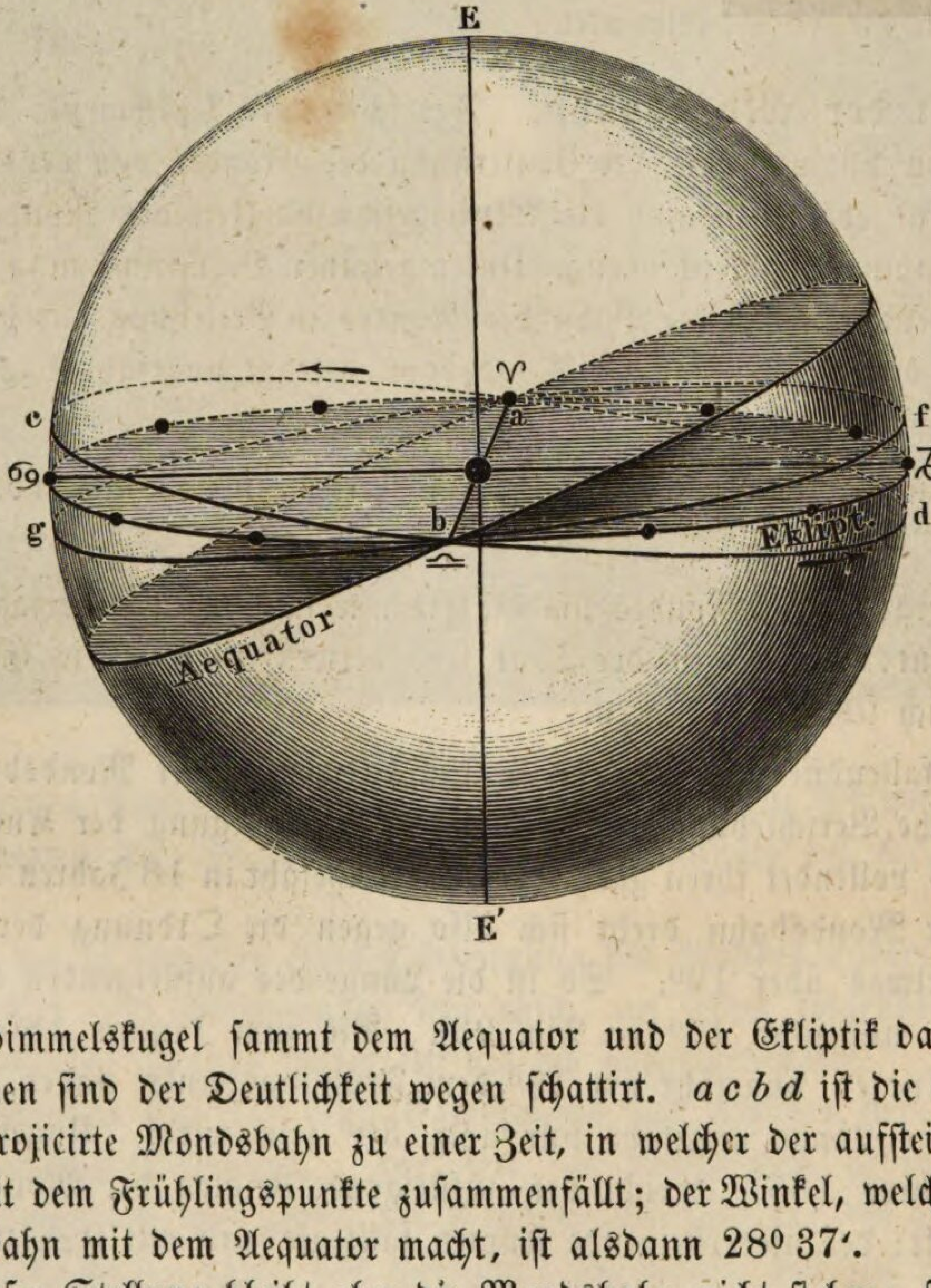
dicht unter β tauri und β geminorum vorbei durch den Herbstpunkt und über α virginis und α scorpii zum Frühlingspunkt zurück.

Die Neigung der Mondsbahn gegen den Himmelsäquator wird ein Minimum, nämlich $23^0 28' - 5^0 9' = 18^0 19'$, wenn der niedersteigende Knoten mit dem Frühlingspunkte zusammentrifft. Der Mond tritt alsdann in 0 ♈ auf die Südseite der Ekliptik, und seine scheinbare Bahn geht nun ungefähr über Aldebaran etwas nördlich von γ geminorum vorbei nach 0 ♎ über γ librae und dann zwischen α und β Capricorni hindurch.

Es wird dies zunächst ungefähr $9^1/_4$ Jahr nach der zuerst besprochenen Periode, also im Herbst 1866 wieder stattfinden.

Zur Erläuterung der eben besprochenen Verhältnisse dient noch Fig. 103,

Fig. 103.



welche die Himmelskugel sammt dem Aequator und der Ekliptik darstellt. Diese beiden Ebenen sind der Deutlichkeit wegen schattirt. *a c b d* ist die auf die Himmelskugel projicirte Mondsbahn zu einer Zeit, in welcher der aufsteigende Knoten derselben mit dem Frühlingspunkte zusammenfällt; der Winkel, welchen die Ebene der Mondsbahn mit dem Aequator macht, ist alsdann $28^0 37'$.

In dieser Stellung bleibt aber die Mondsbahn nicht stehen; sie bewegt sich so, als ob sie bei unveränderter Neigung gegen die Ekliptik um die Axe *EE'* derselben gegen die Ordnung der Zeichen gedreht würde, so daß der aufsteigende Knoten allmälig von ♈ nach ♑ und dann weiter von ♑ nach ♎ rückt. Ist der aufsteigende Knoten in 0 ♎, also in *b* angelangt, so hat nun die Ebene der Mondsbahn die Lage *a g b f*, sie macht zu dieser Zeit nur noch einen Winkel von $18^0 19'$ mit dem Aequator.

Hier mag noch die Bemerkung Platz finden, daß der Mond den nördlichen Wendepunkt seiner Bahn im Sommer um die Zeit des Neumondes, im Winter zur Zeit des Vollmondes passirt. Der Vollmond bleibt also in den Wintermonaten weit länger über dem Horizont als in den Sommermonaten.

Die Absidenlinie (die große Axe) der Mondsbahn ändert ihre Lage gleichfalls sehr rasch. Das Perigäum schreitet rechtläufig in jedem Jahre fast um 41° voran, so daß es in 8 Jahren 310 Tagen 14 Stunden einen vollständigen Umlauf um den ganzen Himmel herum macht.

Ferner ist die Excentricität und die Neigung der Mondsbahn gegen die Ekliptik innerhalb gewisser Gränzen veränderlich. Diese und noch manche andere Unregelmäßigkeiten des Mondlaufes, auf die wir zum Theil zurückkommen, wenn von den physikalischen Ursachen derselben die Rede sein wird, machen, daß die genaue Berechnung der Mondsörter eine äußerst verwickelte ist.

Sternbedeckungen. Wenn der Mond zwischen der Erde und einem Fixsterne oder einem Planeten hindurchgeht, so sagt man, daß der Mond dieselben bedecke. Solche Sternbedeckungen kommen ziemlich häufig vor. 66

Da der Mond unter den Fixsternen in der Richtung von West nach Ost fortschreitet, so ist klar, daß die Sterne auf seiner Ostseite verschwinden und auf der Westseite wieder zum Vorschein kommen.

Fig. 104 und Fig. 105 stellen zwei Bedeckungen von *α* scorpii dar, wie

Fig. 104.

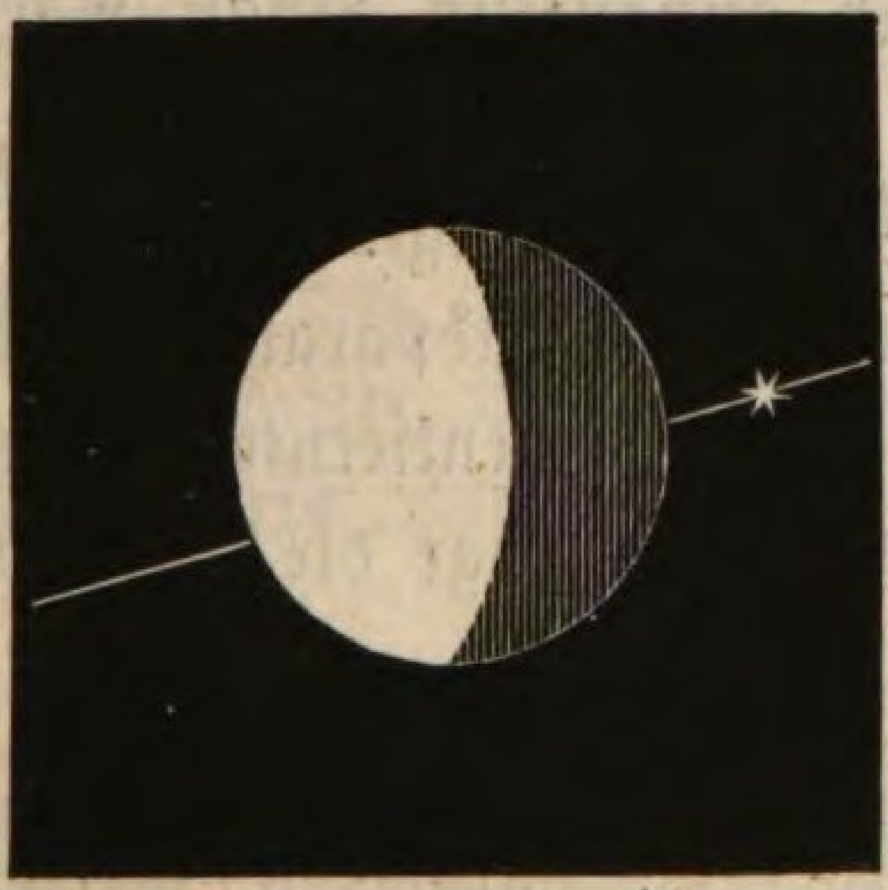
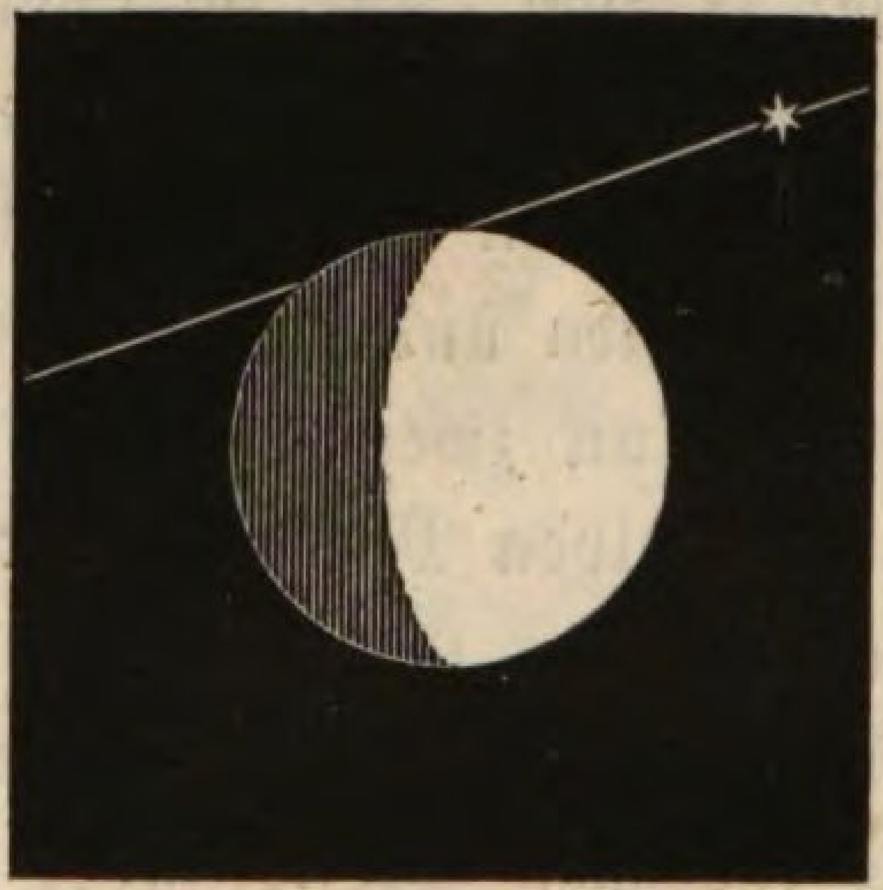


Fig. 105.



sie zu Berlin erscheinen werden. Die erste findet am 26. März 1856 Statt. Der Stern tritt um 16^h 39,2′ am östlichen Rande des Mondes ein und um 17^h 58,6′ auf der Westseite wieder aus, die Bedeckung dauert also 1 Stunde 19,4 Minuten. Bei der in Fig. 105 dargestellten Bedeckung, welche am 10. August 1856 stattfindet, ist die Zeit des Eintritts 5^h 38,3′, die Zeit des Austritts 6^h 9,7′ Berliner Zeit.

Das Verschwinden und das Wiedererscheinen der Sterne erfolgt plötzlich; besonders scharf lassen sich die Eintritte beobachten, wenn sie am dunklen Rande stattfinden, wie in dem Fig. 105 abgebildeten Falle.

Von den Sternen erster Größe können vier bedeckt werden, nämlich Aldebaran, Regulus, Spica und Antares. Ein besonders interessantes Schauspiel bietet die Bedeckung der Plejaden dar.

Die Bedeckungen von α tauri finden Statt, wenn die Neigung der Mondsbahn gegen den Aequator sehr klein ist, wenn also ihr aufsteigender Knoten sich in der Nähe von 0 ♎ befindet; dagegen werden die Plejaden bedeckt, wenn der Winkel, welchen die Ebene der Mondsbahn mit dem Aequator macht, seinem größten Werthe nahe ist, wenn also der aufsteigende Knoten in der Nähe des Frühlingspunktes liegt, wie dies z. B. im Jahre 1857 der Fall sein wird.

Es ist bereits oben in §. 5 (S. 49) angeführt worden, daß die Sternbedeckungen ein ausgezeichnetes Mittel zur Längenbestimmung sind; aus diesem Grunde werden für alle Hauptsternwarten die Bedeckungen (Occultationen) der Fixsterne erster bis sechster Größe auf mehrere Jahre vorausberechnet. In den Ephemeriden findet man den Moment des Eintritts und den Moment des Austritts der Fixsterne oder Planeten nach der Zeit der entsprechenden Sternwarte ausgedrückt.

67 **Parallaxe, Entfernung und Größe des Mondes.** Der Mond steht der Erde so nahe, daß er, gleichzeitig von verschiedenen Orten der Erdoberfläche aus betrachtet, an verschiedenen Stellen des Himmelsgewölbes projicirt erscheint; wenn zu Berlin ein Stern eben den nördlichen Mondrand berührt, so wird der Mond, vom Cap der guten Hoffnung aus betrachtet, noch nördlich von jenem Sterne gesehen werden, und zwar wird der Abstand des Sternes vom südlichen Mondrande noch ungefähr 50′ betragen.

Es geht daraus hervor, daß die Mondparallaxe sehr bedeutend ist, und daher kommt es auch, daß sie schon sehr früh annähernd genau war bestimmt worden. Schon Hipparch bestimmte sie zu 47,5 bis 55,5 Minuten, während ihr mittlerer Werth in der That nahezu 58 Minuten beträgt.

Am einfachsten und genauesten erhält man die Mondparallaxe dadurch, daß zwei Beobachter an zwei möglichst weit von einander entfernten Orten, welche nahezu auf demselben Meridian liegen, an demselben Tage die Zenithdistanz des Mondes zur Zeit der Culmination bestimmen.

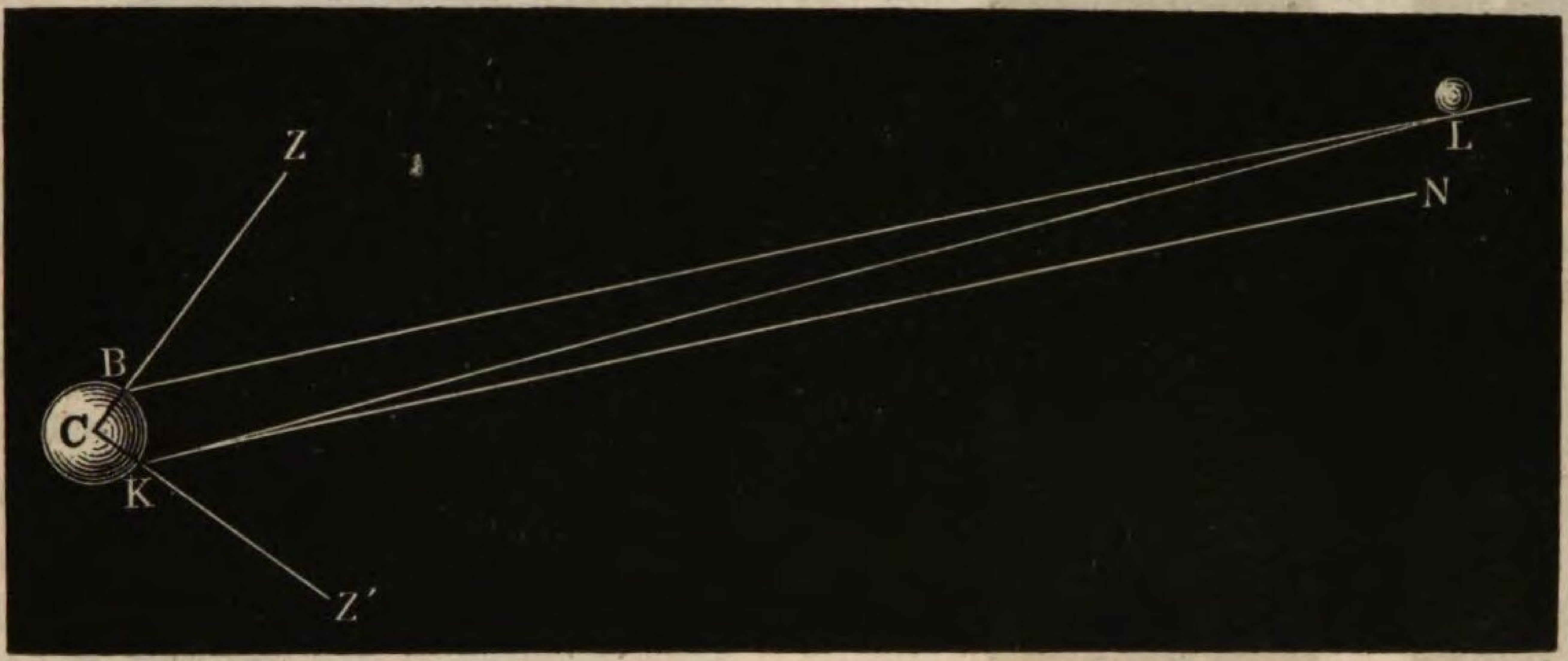
So fand z. B. den 6. December 1751 Lalande in Berlin die Zenithdistanz des südlichen Mondrandes beim Durchgang durch den Meridian gleich 41° 15′ 44″, während auf dem Cap der guten Hoffnung an demselben Tage Lacaille bei der Culmination des Mondes die Zenithdistanz des südlichen Mondrandes gleich 46° 33′ 37″ fand.

Die Polhöhe von Berlin ist 52° 31′ 13″ nördl.
Die Polhöhe des Caps ist 33 55 15 südl.

In Fig. 106 sei C der Mittelpunkt der Erde, B Berlin, K das Cap der guten Hoffnung, L der südliche Mondrand. ZBL ist die zu Berlin und $Z'KL$ ist die auf dem Cap beobachtete Zenithdistanz des südlichen Mondrandes. — Wäre der Mond unendlich weit entfernt, so wären die nach ihm von B und K aus gerichteten Visirlinien BL und KL einander parallel und die Summe der Zenithdistanzen ZBL und $Z'KL$ müßte gleich sein dem Winkel BCK 86° 26′ 28″. Die Summe der beobachteten Zenithdistanzen ist aber 87° 49′ 21″, mithin ist der Winkel NKL, also auch Winkel $BLK = 1° 22′ 53″$, oder mit

anderen Worten, die Sehne *BK* erscheint, vom Mond aus gesehen, unter einem Winkel von 1° 22′ 53″. Danach ergiebt sich dann die Horizontalparallaxe des

Fig. 106.

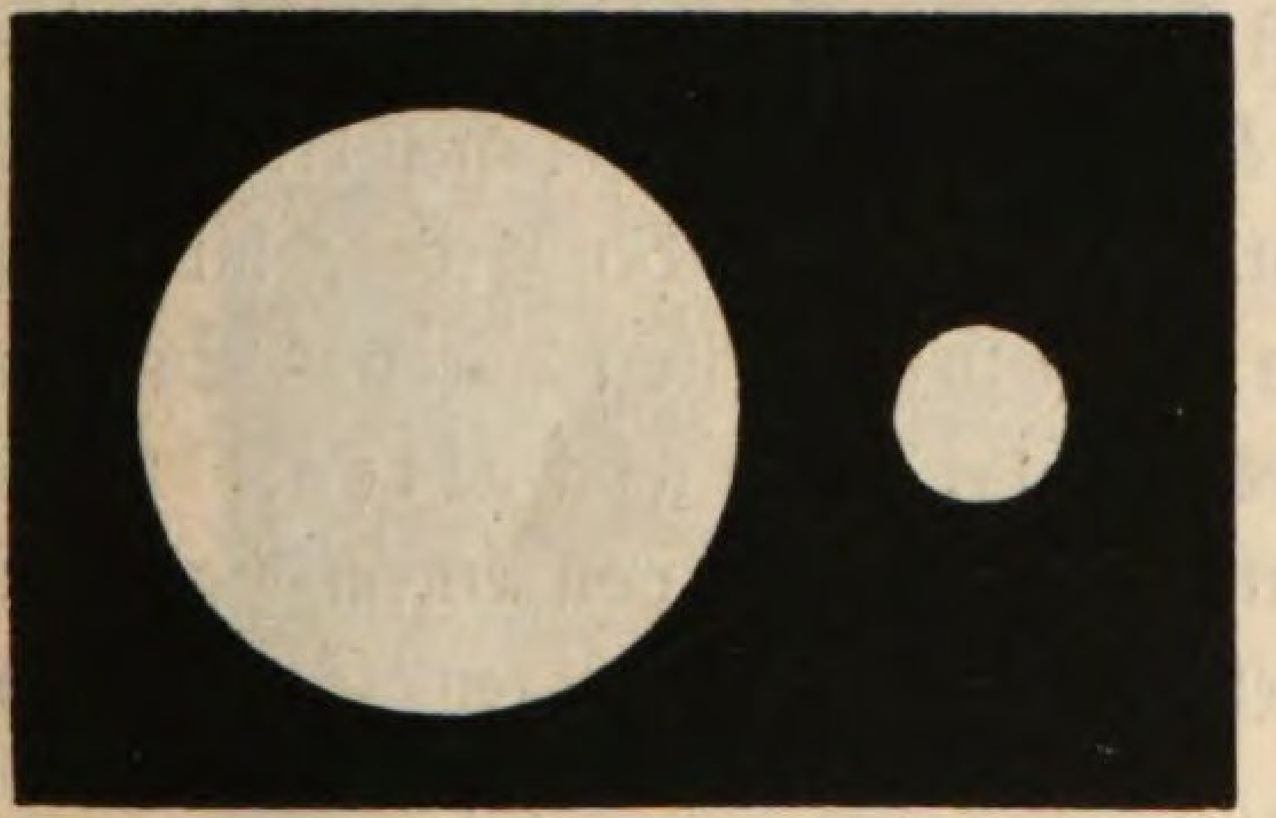


Mondes, d. h. der Winkel, unter welchem, vom Mond aus gesehen, der Halbmesser der Erde erscheint, wenn man bei der Berechnung alle nöthigen Correctionen anbringt, gleich 0° 58′ 44,2″.

Da die Entfernung des Mondes von der Erde variirt, so ist auch die Horizontalparallaxe des Mondes veränderlich; der mittlere Werth derselben ist 0° 57′ 19,9″, und demnach ist die mittlere Entfernung des Mittelpunktes des Mondes vom Mittelpunkte der Erde gleich 59,94643 Halbmessern des Erdäquators oder 51535 geographischen Meilen.

Da ferner die Entfernung des Mondes von der Erde und der scheinbare Durchmesser bekannt ist, unter welchem er uns erscheint, so kann man auch den wahren Durchmesser desselben berechnen, welcher sich gleich 0,2742 Erdhalbmessern oder gleich 236 geographischen Meilen ergiebt.

Fig. 107.



Der Durchmesser des Mondes ist also ungefähr $^3/_{11}$, die Oberfläche desselben $^3/_{40}$ und das Volumen desselben $^2/_{97}$ von den entsprechenden Größen der Erde.

Fig. 107 dient dazu, um das Größenverhältniß der Erde und des Mondes anschaulich zu machen.

Fig. 108 (a. f. S.) stellt die Erde, den Mond und ihre gegenseitige Entfernung im richtigen Verhältniß dar.

Bahn des Mondes im Sonnensystem. Wir haben oben die Bewe- 68
gung des Mondes nur in Beziehung auf die Erde betrachtet; da aber die Erde selbst eine fortschreitende Bewegung hat, da sie um die Sonne kreist, so ist die Bahn des Mondes im Raume oder vielmehr in Beziehung auf die Sonne eine Epicycloide (§. 49). Die Mondcycloide zeigt aber keine Verschlingungen,

wie wir sie oben kennen lernten, weil der Halbmesser des Deferenten sehr groß ist im Vergleich zum Radius des Epicykels, und weil die Geschwindigkeit des Mondes im Epicykel sehr gering ist gegen die Geschwindigkeit der Erde in ihrer Bahn. Der Charakter der Mondcycloide ist aus Fig. 109 zu ersehen, deren Construction nach §. 49 wohl leicht verständlich sein wird; doch ist hier noch zu bemerken, daß diese Figur die Mondcycloide noch keineswegs im richtigen Verhältniß zeigt, vielmehr ist der Abstand des Mondes von der Erde in dieser Figur noch viel zu groß genommen im Vergleich zum Halbmesser der Erdbahn. Sollte in der Zeichnung das richtige Verhältniß eingehalten werden, so müßte der Radius des Epicykels $^1/_{400}$ vom Radius des Deferenten, es müßte TL, $T_1 L_1$ u. s. w. $^1/_{400}$ des Halbmessers sein, mit welchem der Bogen TT_4 gezogen ist; die Mondcycloide ist also in der That viel flacher als die in unserer Figur dargestellte Curve.

Fig. 108.



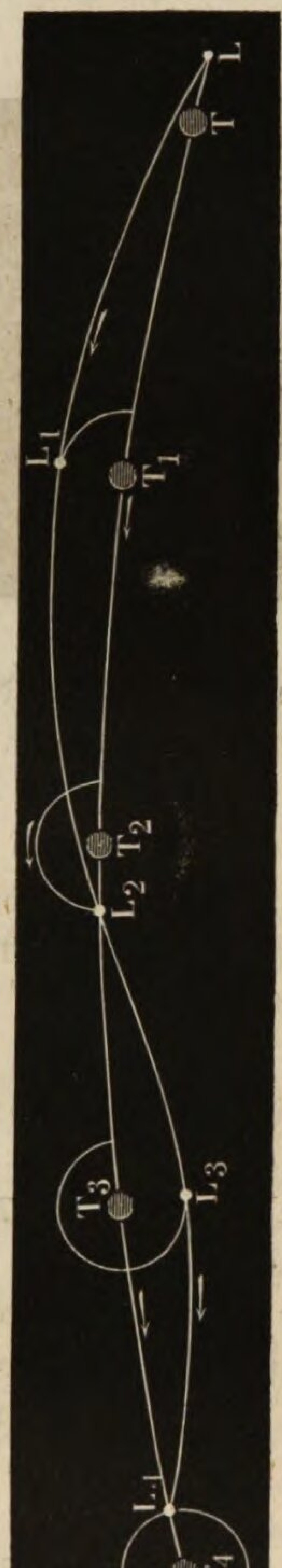
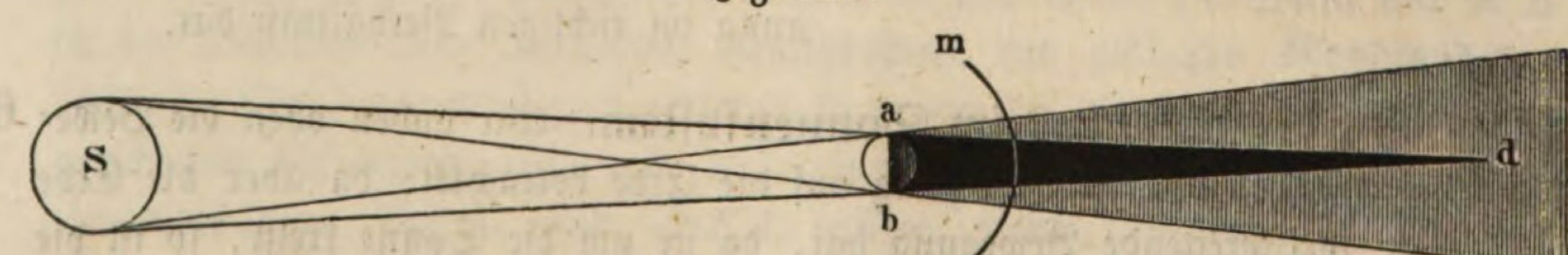


Fig. 109.

Die Geschwindigkeit, mit welcher der Mond in seiner Bahn um die Erde fortschreitet, ist ungefähr 30 mal geringer, als die Geschwindigkeit der Erde auf ihrem Wege um die Sonne.

69 **Mondfinsternisse.** Da die Erde ein dunkler undurchsichtiger Körper ist, so muß sie einen Schatten geben, welcher, da die Erde kleiner ist, als die Sonne, die Gestalt eines Kegels *abd*, Fig. 110, hat, dessen kreisförmige Basis durch den Umfang der Erde gebildet ist. In diesen Raum *abd* dringt gar kein Sonnenstrahl, es ist der Kernschatten. Dieser Kernschatten ist ringsum von einem Halbschatten umgeben, welcher diejenigen Stellen um-

Fig. 110.



faßt an welchen nur ein Theil der Sonnenscheibe sichtbar ist, an welchen also

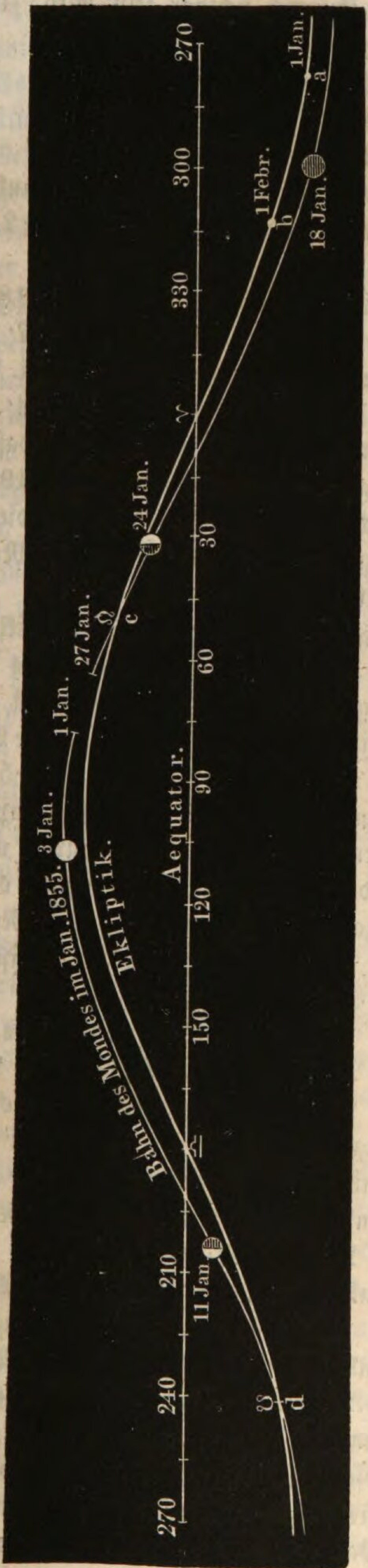


Fig. 111.

weder vollkommener Ausschluß der Sonnenstrahlen, noch eine volle Erleuchtuug stattfindet.

Die Länge des Kernschattens beträgt ungefähr 216 Erdhalbmesser; sie wird größer, wenn die Erde im Aphelium, kleiner, wenn sie im Perihelium sich befindet.

Durch diesen Schatten geht nun der Mond von Zeit zu Zeit hindurch, und erscheint uns dann verfinstert. Solche Mondfinsternisse können natürlich nur stattfinden, wenn ☽ ☍ ☉, also zur Zeit des Vollmondes.

Daß aber nicht bei jedem Vollmond eine Mondfinsterniß eintritt, ist leicht einzusehen. Der Mond ist 60 Erdhalbmesser von der Erde entfernt; in dieser Entfernung aber ist der Durchmesser des Kernschattens gleich 0,72 Erddurchmessern oder gleich 2,9 Monddurchmessern. Von der Erde aus gesehen, erscheint also der Halbmesser des Kernschattens an jener Stelle unter einem Winkel von ungefähr 44 Minuten.

Der Mittelpunkt des Erdschattens befindet sich natürlich stets auf der Ekliptik, und zwar der Sonne diametral gegenüberstehend. Wenn sich also der Mondrand zur Zeit des Vollmondes der Ekliptik wenigstens bis auf 44 Minuten genähert hat, so tritt er in den Erdschatten ein; wenn aber, wie dies meistens und auch in dem Fig. 111 dargestellten Stück der Mondsbahn der Fall ist, zur Zeit der Opposition (also des Vollmondes) der Mond weiter von der Ekliptik entfernt ist, so geht er entweder über oder unter dem Erdschatten vorüber, und es findet alsdann keine Mondfinsterniß Statt.

Das Wesen der Mondfinsternisse wird wohl am besten durch die Betrachtung einzelner Fälle erläutert.

Die nächste Mondfinsterniß, welche in Europa sichtbar sein wird, ist die am 1. Mai 1855.

Dem Berliner astronomischen Jahrbuche für 1855 zufolge wird

die Breite ☽ am 1. Mai 1855 12^h gleich $+ 0^0\ 24'\ 21''$,

die Breite ☽ am 1. Mai 1855 24^h gleich $-\ 0\ \ 12\ \ 19$

sein. Aus diesen Angaben läßt sich leicht berechnen, daß der Mittelpunkt des Mondes die Ekliptik am 1. Mai $19^h\ 42'$ oder nach bürgerlicher Zeit am 2. Mai Morgens $7^h\ 42'$ passiren wird.

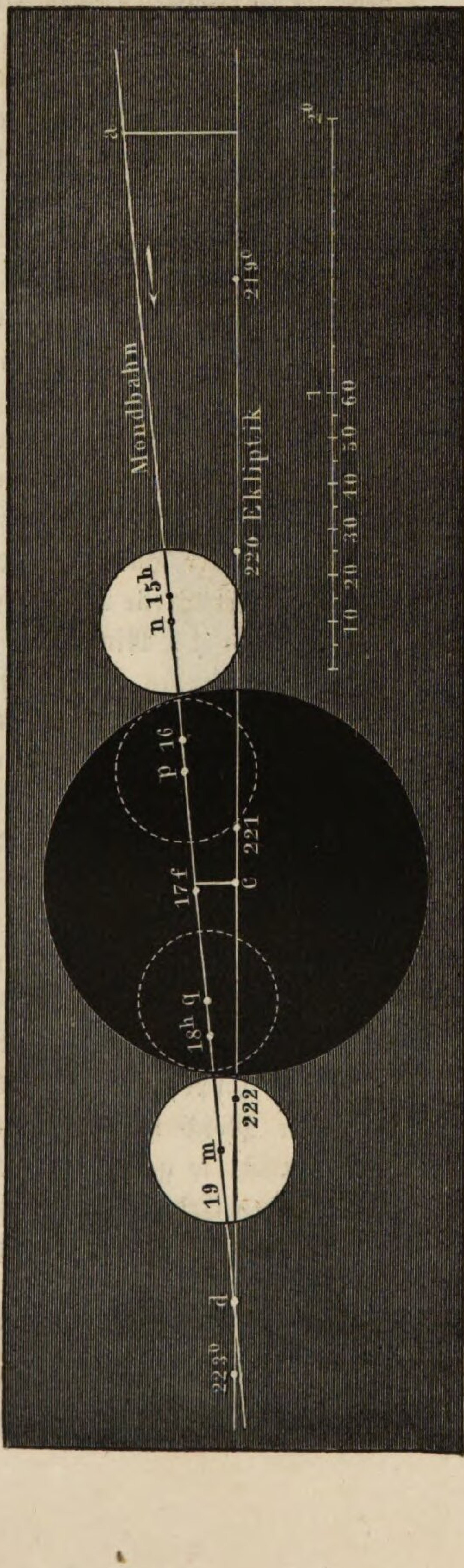


Fig. 112.

Es ist die Länge ☽ am 1. Mai 1855 $12^h = 218^0\ 27'\ \ 7''$, ferner ist die Länge ☽ am 1. Mai 1855 $24^h = 225^0\ \ 4'\ 20''$. Daraus berechnet man dann, daß die Länge des Mondmittelpunktes um $19^h\ 42'$ gleich sein wird $222^0\ 42'$; es ist dies die Länge des niedersteigenden Mondknotens.

Fig. 112 stellt ein Stück der Ekliptik, und zwar ungefähr vom 218. bis 223. Längengrade dar. Jeder Grad ist einen Pariser Zoll lang aufgetragen, eine Länge von einer Pariser Linie stellt also 5 Bogenminuten dar; *d* ist der Knotenpunkt, dessen Lage oben ermittelt wurde, und *a* ist der Punkt, an welchem nach obigen Angaben der Mittelpunkt des Mondes am 1. Mai um 12^h steht; *da* ist also ein Stück der Mondsbahn.

Der Moment des Vollmondes, d. h. der Augenblick, in welchem die Länge des Mondes gerade um 180^0 von der Länge der Sonne differirt, ist dem astronomischen Jahrbuche zufolge um $16^h\ 56{,}7'$. Man findet leicht, daß in diesem Moment der Mittelpunkt des Mondes in einem Punkte *f* steht, dessen Länge $221^0\ 21'$ ist.

Dies ist aber auch die Länge des Punktes *c*, welchen in demselben Moment der Mittelpunkt des Erdschattens einnimmt. In unserer Figur ist dieser Erdschatten als ein vollkommen schwarzer Kreis dargestellt, dessen Radius beinahe 9 Pariser Linien ist, da ja der Halbmesser des Erdschattens an der fraglichen

Stelle 44′ beträgt und eine Winkelgröße von 5′ in unserer Figur als eine Pariser Linie aufgetragen ist.

Es ist hier für den Halbmesser des Erdschattens an der fraglichen Stelle der Mittelwerth von 44′ genommen worden. Wenn die Construction ganz genaue Resultate geben sollte, so dürfte man sich mit diesem Mittelwerthe nicht begnügen, sondern man müßte ihn aus der Entfernung, in welcher sich zur Zeit der Finsterniß Sonne und Mond gerade befinden, erst berechnen. Die Elemente zu einer solchen Berechnung finden sich in den astronomischen Jahrbüchern.

Der Erdschatten steht aber nicht still, er schreitet in einer Stunde um 2′ 25″ von West nach Ost, also in unserer Figur von der Rechten zur Linken fort. In einer Stunde bewegt sich aber der Mond in gleicher Richtung um 33′ 4″ vorwärts; wir können also, da es sich nur um die relative Bewegung des Mondes und des Erdschattens handelt, annehmen, daß der Erdschatten stillstände und daß der Mond in einer Stunde nur um 30′ 39″ nach Osten hin fortschritte.

In *f* steht der Mittelpunkt des Mondes um 16^h 57′, um 17 Uhr steht er also noch um 1,5 Bogenminuten östlicher, also in dem mit 17 bezeichneten Punkte. Mißt man nun auf der Mondsbahn von dem Punkte 17 aus die Länge von 30,65′ nach beiden Seiten hin ab, so findet man die mit 15, 16, 18 und 19 bezeichneten Punkte, in welchen sich der Mondmittelpunkt um 15, 16, 18 und 19 Uhr befinden wird, wenn wir nur seine relative Bewegung zum Erdschatten betrachten.

Der scheinbare Halbmesser des Mondes zur Zeit dieser Finsterniß ist 15,5′ und mit diesem Halbmesser sind die Kreise um die Punkte *n*, *p*, *q* und *m* gezogen.

Die Punkte *m* und *n* stehen von *c* um die Summe der Halbmesser des Erdschattens und des Mondes ab, folglich wird ein mit dem Radius 15,5′ um *n* oder *m* gezogener Kreis den Erdschatten gerade berühren. Wenn der Mittelpunkt des Mondes in *n* steht, so beginnt also der Mond eben in den Kernschatten der Erde einzutreten. Wie man aus der Figur 112 leicht ersehen kann, wird dieser Eintritt ungefähr um 15^h 8′ erfolgen, da der Abstand von *n* bis zu dem mit 15^h bezeichneten Punkte einem Zeitintervall von 8 Minuten entspricht.

Der Mond wird eben aus dem Erdschatten vollständig ausgetreten, die Finsterniß wird zu Ende sein, wenn der Mittelpunkt des Mondes in *m* anlangt, was um 18^h 49′ der Fall sein wird.

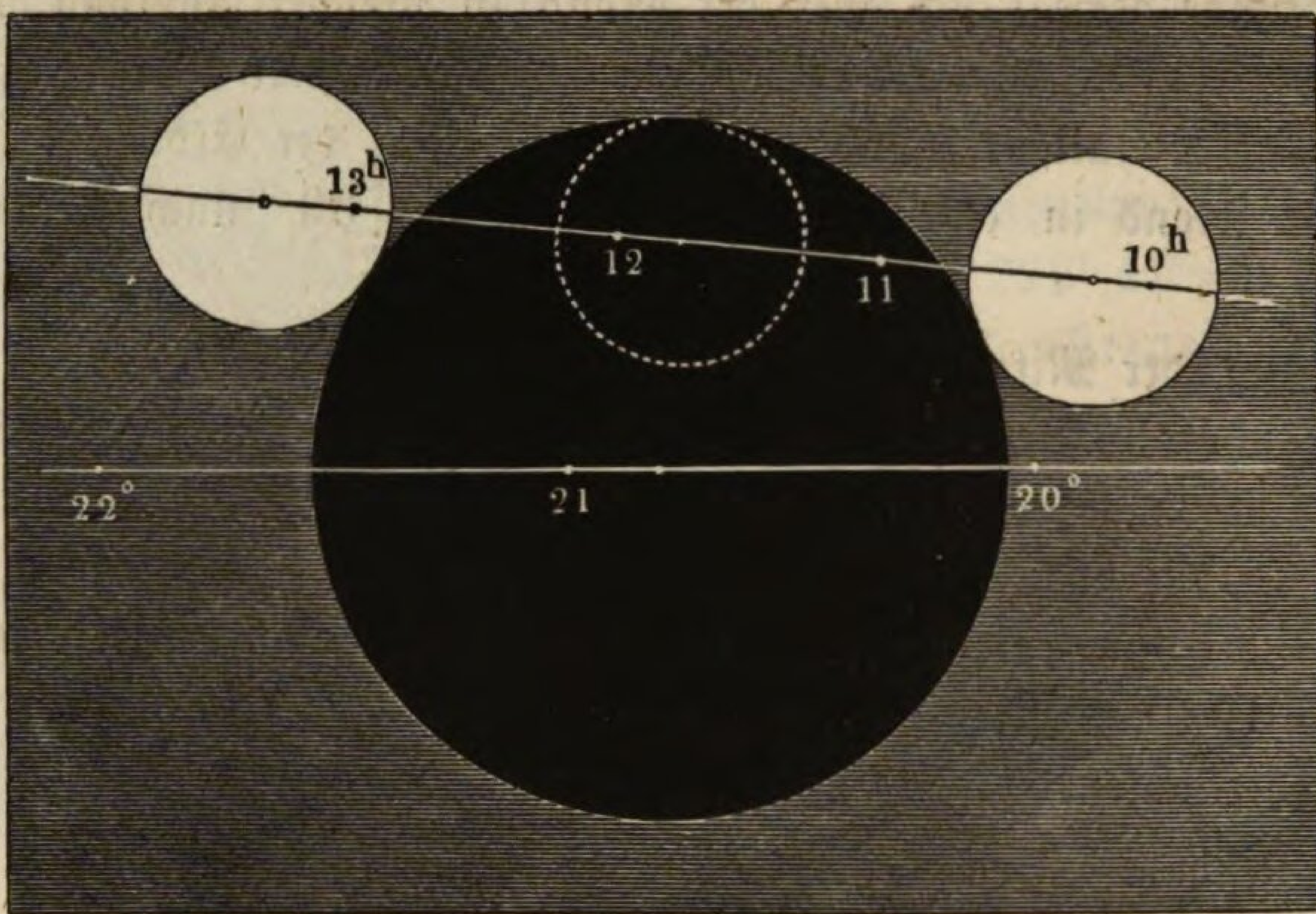
Die Punkte *p* und *q* sind von *c* um die Differenz des Halbmessers des Erdschattens und des Mondes entfernt; wenn also der Mittelpunkt des Mondes in *p* oder in *q* steht, so wird der Mondrand die Gränze des Kernschattens gerade von innen berühren. In dem Augenblicke also, in welchem der Mittelpunkt des Mondes in *p* anlangt, ist der Mond vollständig in den Erdschatten eingetreten; es ist dies der Anfang der totalen Finsterniß, welcher um 16^h 10′ stattfinden wird, da 10 Minuten nöthig sind, damit der Mond von dem mit 16 bezeichneten Punkte nach *p* gelangt.

Die totale Finsterniß erreicht ihr Ende, wenn der Mittelpunkt des Mondes in *q* anlangt, um 17^h 47′.

Da der Mond an jenem Tage für Berlin bereits um 16^h 32′ untergehen wird, so kann man daselbst, sowie in ganz Europa, nur den Anfang, nicht das Ende jener Finsterniß sehen.

Nach den obigen Erläuterungen ist nun wohl der Verlauf der Mondfinsterniß vom 13. October 1856 ohne weitere Schwierigkeiten aus Fig. 113 zu

Fig. 113.



ersehen. Diese Finsterniß findet kurz nach dem Durchgange des Mondes durch den aufsteigenden Knoten Statt.

In diesem Falle ist die totale Verfinsterung nur eine momentane, indem die Punkte *p* und *q* der vorigen Figur in einen einzigen zusammenfallen. Nach genauen Rechnungen wird sogar die Finsterniß gar keine totale werden, indem der nördliche Mondrand noch eben über den nördlichen Rand des Erdschattens hinausragen wird.

Diese Finsterniß wird während ihres ganzen Verlaufes in Europa sichtbar sein.

Wenn der Mond in dem Moment der Opposition noch weiter von seinem auf- oder niedersteigenden Knoten entfernt ist, als in dem zuletzt betrachteten Falle, so kann die Mondscheibe nicht mehr vollständig in den Erdschatten eintreten, die Finsterniß ist dann nur eine partiale. Die Figuren 114 und 115 stellen den Verlauf der partialen Mondfinsternisse vom 13. November 1845 und vom 31. März 1847 dar.

Um die Größe einer Mondfinsterniß zu bestimmen, d. h. um anzugeben, der wievielste Theil der Mondscheibe verfinstert ist, denkt man sich den Durchmesser

des Mondes, dessen Verlängerung durch den Mittelpunkt des Erdschattens geht, in 12 gleiche Theile getheilt, welche man Zolle nennt, und giebt dann an, wie

Fig. 114.

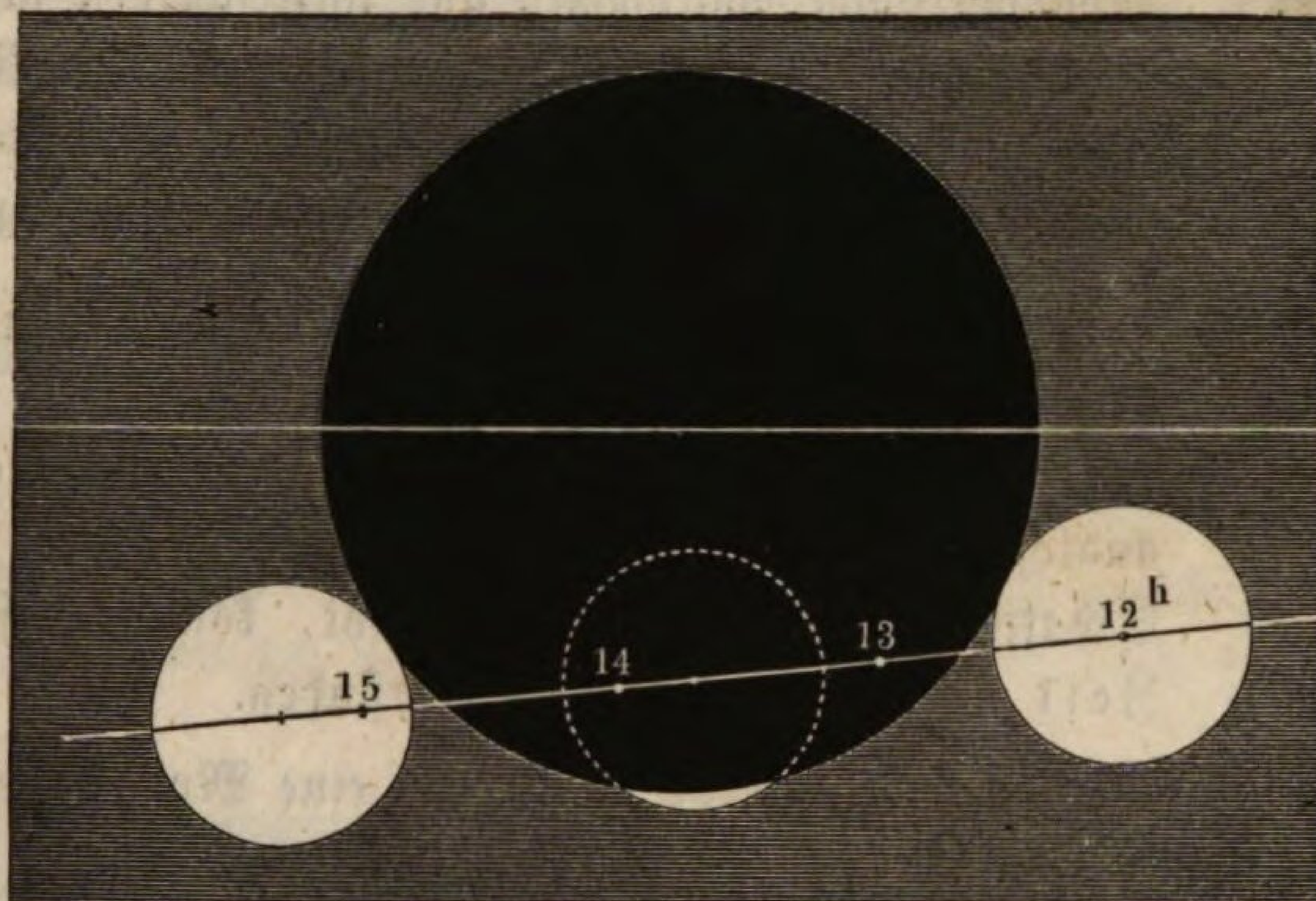
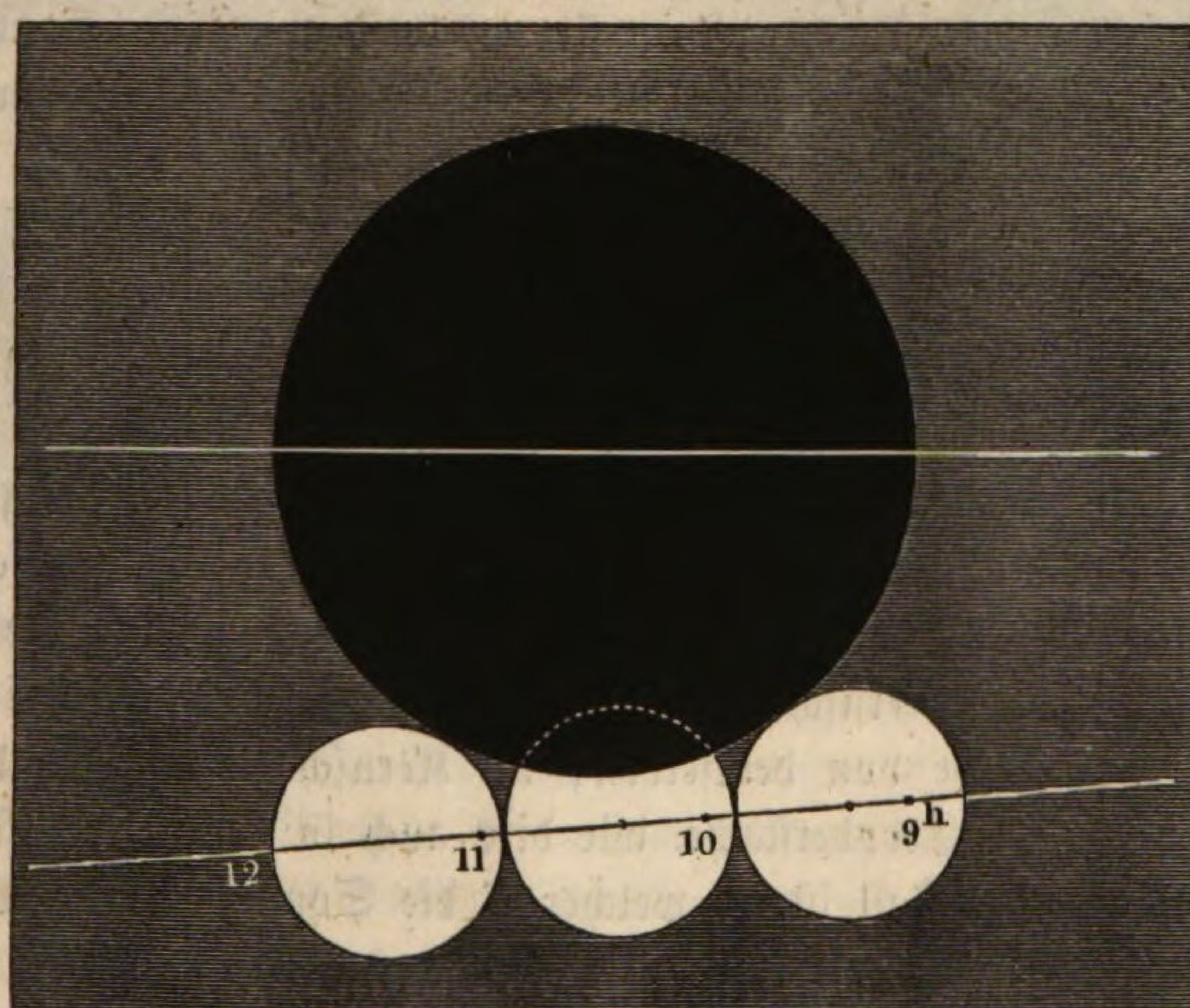


Fig. 115.



viele dieser Zolle verfinstert sind. So betrug das Maximum der Verfinsterung am 13. November 1845 zwischen 10 und 11 Zoll, am 31. März 1847 nur etwas über 3 Zoll.

Der Erdschatten zeigt sich auf dem Monde stets kreisförmig; er ist aber nie vollkommen scharf begränzt, weil eben der Uebergang aus dem Kernschatten in den Halbschatten ein allmäliger ist.

Anfangs, wenn eben der Mond in den Erdschatten einzutreten beginnt, erscheint der verfinsterte Theil des Mondes von grauer Farbe und alle Flecken verschwinden. Wenn sich aber der Mond mehr und mehr in den Erdschatten einsenkt, geht dieses Grau in Roth über und dabei werden die Flecken wieder

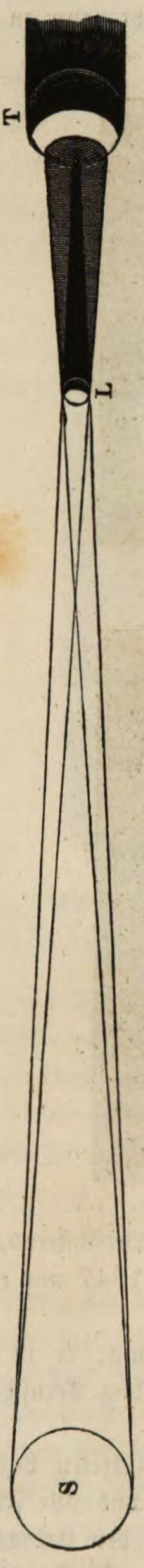


Fig. 116.

sichtbar, so daß, wenn die totale Finsterniß eingetreten ist, nun die ganze Mondscheibe eine eigenthümlich dunkelrothe Färbung zeigt, in welcher sich die Einzelnheiten auf der Mondoberfläche vollkommen gut unterscheiden lassen. Diese Erleuchtung des Mondes während der totalen Verfinsterung rührt offenbar von zerstreutem Lichte her, welches die erleuchtete Erdatmosphäre noch in den Erdschatten hineinsendet.

70 **Sonnenfinsternisse** sind Erscheinungen, welche einerseits den Sternbedeckungen durch den Mond, andererseits den Durchgang der unteren Planeten vor der Sonnenscheibe analog sind; sie treten ein, wenn die Erde durch den Schatten des Mondes hindurchgeht, können also nur *zur Zeit des Neumondes* stattfinden.

So wenig jeder Vollmond eine Mondfinsterniß bringt, so wenig ereignet sich auch bei jedem Neumond eine Sonnenfinsterniß, weil sich der Mond so weit von der Ekliptik entfernt, daß sein Schatten meist über oder unter der Erde vorbeistreicht, ohne sie zu treffen. Eine Sonnenfinsterniß kann nur dann stattfinden, wenn der Mond zur Zeit seiner Conjunction mit der Sonne ganz in der Nähe der Ekliptik steht.

Im Mittel ist der scheinbare Durchmesser des Mondes 31,5, der der Sonne 32 Minuten, die Spitze des Kernschattens reicht demnach nicht immer bis auf die Erde. Wenn aber die Sonne in ihrer Erdferne, der Mond gerade in seiner Erdnähe ist, so ist der scheinbare Durchmesser der Sonne 31,5, der des Mondes 34 Minuten, und in diesem Falle ist der Kernschatten des Mondes länger als der Abstand der Erde von demselben; der Kernschatten trifft also noch auf die Erdoberfläche, wie dies auch in der schematischen Fig. 116 der Fall ist, in welcher S die Sonne, L den Mond und T die Erde darstellt.

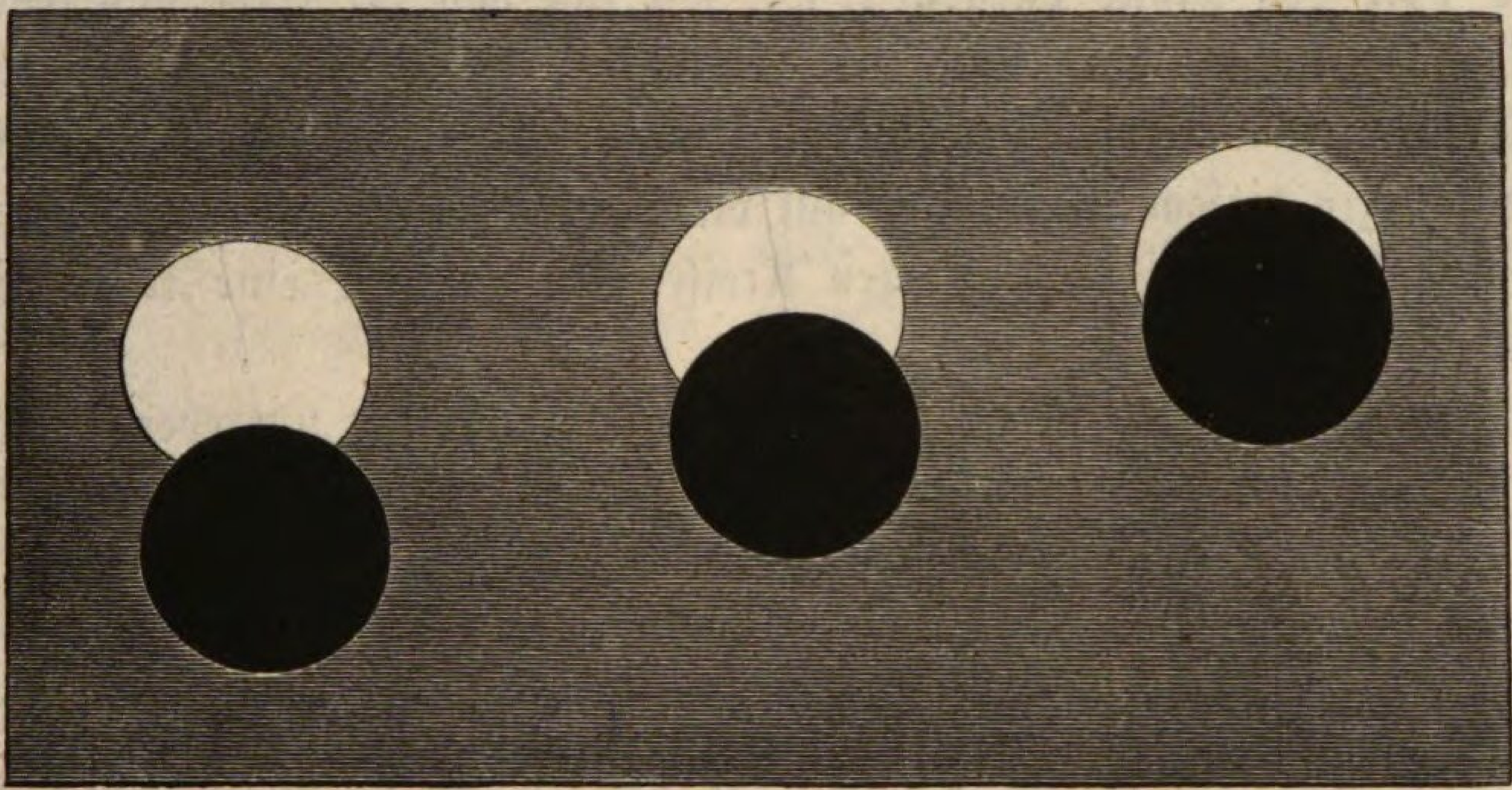
An den gerade vom Kernschatten des Mondes getroffenen Stellen der Erde ist die Sonnenscheibe vollständig durch den Mond verdeckt, es findet eine *totale Sonnenfinsterniß* an diesen Orten Statt.

Für denjenigen Ort der Erde, von welchem aus gesehen die Mittelpunkte der Sonne und des Mondes sich decken, ist die Finsterniß eine *centrale*; natürlich kann sie nur für einen Augenblick central sein. Die centrale Finsterniß ist zugleich eine *ringförmige*, wenn gerade der scheinbare Durchmesser des Mondes kleiner ist als der scheinbare Durchmesser der Sonne.

Der Kernschatten des Mondes ist von einem Halbschatten umgeben, dessen Durchmesser mit der Entfernung vom Monde zunimmt, wie die vorige Figur zeigt. An der Stelle, an welcher die Erde in denselben eintreten kann, ist der Durchmesser seines Querschnittes ungefähr dem Halbmesser der Erde gleich; er ist kleiner, wenn der Kernschatten des Mondes die Erde noch trifft, größer, wenn dies nicht mehr der Fall ist. An solchen Orten der Erdoberfläche, welche gerade in dem Halbschatten des Mondes liegen, erscheint nur ein Theil der Sonnenscheibe durch den Mond verdeckt; in solchen Fällen ist die Sonnenfinsterniß eine partiale.

Um die Größe der Bedeckung bei einer partialen Finsterniß anzugeben, denkt man sich den Durchmesser der Sonne, welcher in die Verbindungslinie der Mittelpunkte der Sonnen- und Mondscheibe fällt, in 12 gleiche Theile (Zolle) getheilt und giebt dann an, wie viele Zolle verdeckt sind. So zeigt Fig. 117

Fig. 117.



eine Verfinsterung von 3, eine solche von 6 und endlich eine solche von 9 Zoll.

Eine Mondfinsterniß bietet auf der ganzen Erdhälfte, für welche sich der in den Erdschatten eingetauchte Mond über dem Horizont befindet, ganz den gleichen Anblick dar. Der Moment, in welchem man den Mond gerade in den Erdschatten eintreten sieht, ist derselbe für alle Orte der Erde, an denen überhaupt das Phänomen sichtbar ist. Ebenso sehen die Beobachter der verschiedensten Gegenden den Mond in demselben Moment wieder aus dem Schatten hervortreten. Ganz anders verhält es sich bei Sonnenfinsternissen. Während an einem Orte eine totale Sonnenfinsterniß stattfindet, beobachtet man in benachbarten Gegenden nur eine partiale, in entfernteren gar keine Sonnenfinsterniß; ebenso sind die Zeitpunkte, in welchen die Sonnenfinsterniß beginnt und endet, für verschiedene Orte auf der Erde nicht dieselben.

Die eben angedeuteten Verhältnisse werden am besten erläutert, wenn wir den Vorgang irgend einer speciellen Sonnenfinsterniß näher betrachten, und besonders, wenn wir untersuchen, welches der Verlauf der Erscheinung, vom Mond aus betrachtet, sein wird.

Am 4. April 1856 wird eine in Australien sichtbare Sonnenfinsterniß

stattfinden. Dem Berliner astronomischen Jahrbuche zufolge ist der Moment der Conjunction von Sonne und Mond am 4. April 18^h 43′ 35″ Berliner Zeit. In diesem Augenblick ist die Länge der Sonne und des Mondes (nämlich der Mittelpunkte beider Himmelskörper) 15° 38′ 21″. Die heliocentrische Länge des Mittelpunktes der Erde sowohl wie des auf die Erde fallenden Mondschattens ist demnach in dem fraglichen Momente 195° 38′ 21″; die gleichzeitige südliche Breite des Schattenmittelpunktes ist 48′ 24,6″.

In Fig. 5 auf Tab. X., welche nach demselben Maßstabe gezeichnet ist, wie die Figuren 112 bis 115, stellt AB ein Stück der Ekliptik, C den Mittelpunkt der Erde und m den Mittelpunkt des Mondschattens für den Moment der Conjunction dar. Zur Zeit jener Finsterniß ist dem astronomischen Jahrbuche zufolge die Horizontalparallaxe des Mondes gleich 61′ 9,6″, ein mit dem Halbmesser 61,1′ um den Mittelpunkt C beschriebener Kreis stellt also den Umfang der vom Monde aus betrachteten Erdkugel dar, wenn die weißen Kreise in den Figuren 112 bis 115 den Mond darstellen, wie wir ihn von der Erde aus sehen.

Die Figur zeigt uns nun die Erdhälfte, welche im Moment der fraglichen Conjunction gerade der Sonne zugewandt ist. Der Kernschatten des Mondes fällt in diesem Augenblick auf die südwestliche Spitze von Neuholland; hier, innerhalb des kleinen schwarzen Kreises, findet eben eine totale Sonnenfinsterniß Statt.

Dieser Kernschatten ist aber von einem Halbschatten umgeben, welcher den größten Theil von Neuholland bedeckt und sich nördlich bis zur Insel Java erstreckt. An allen Orten, welche innerhalb dieses Halbschattens liegen, findet eine partiale Sonnenfinsterniß Statt, und zwar wird der von dem Monde bedeckte Theil der Sonnenscheibe um so kleiner sein, je weiter man von dem Kernschatten entfernt ist. Ueber die Gränze des Halbschattens hinaus, also in ganz Asien und Afrika, findet keine Bedeckung der Sonnenscheibe Statt.

Unsere Figur stellt den auf die Erde fallenden Mondschatten nur für einen bestimmten Moment dar; vor und nach diesem Zeitpunkte aber wird der Schatten auf andere Gegenden fallen, wie man leicht ersehen kann, da der Mittelpunkt des Mondschattens in der Richtung der Linie DF fortschreitet, während gleichzeitig die Erde in der Richtung des kleinen am Aequator gezeichneten Pfeiles um ihre Axe rotirt. Auf der Linie DF sind die Punkte bezeichnet, in denen sich der Mittelpunkt des Mondschattens um 16^h, 17^h u. s. w. bis 21^h (Berliner Zeit) befindet. Der Mondschatten trifft die Erde zuerst, wenn der Mittelpunkt desselben sich in a befindet, um 16^h 36′ Berl. Zeit, also zu einer Zeit, in welcher ungefähr der 131. Längengrad (etwas östlich von der Ostküste Chinas) in der Mitte der erleuchteten Erdhälfte liegt, und für die Stelle, wo der Erdäquator die Ostküsten Afrikas schneidet, die Sonne eben aufgeht. Das Ende der Finsterniß wird stattfinden, wenn der Mittelpunkt des Mondschattens in b angelangt sein wird, was um 21^h 8′ Berl. Zeit der Fall ist, bis zu welchem Zeitpunkt sich dann die Erde so weit um ihre Axe gedreht hat, daß nun die Sonne auf dem 74. Längengrade östlich von Ferro culminirt, daß also der Eingang des persischen Meerbusens, das Uralgebirge und Nowaja-Semlia Mittag haben

und die Sonne für den östlichsten Theil von Neu-Guinea und Neuholland bereits untergegangen ist.

Ohne auf eine genauere Bestimmung der Gränzen einzugehen, innerhalb welcher die Finsterniß vom 4. April 1856 sichtbar sein wird, ist aber doch aus dem bisher Gesagten mit Hülfe der Fig. 5 auf Tab. X. klar, daß die fragliche Sonnenfinsterniß überhaupt in Neuholland und den nördlich und östlich davon gelegenen Inseln sichtbar sein, daß aber die Linie der centralen Verfinsterung Neuholland durchschneiden wird.

Da der Mondschatten auf der Erde von Westen nach Osten fortschreitet, so ist klar, daß wir den Mond auf der Westseite der Sonnenscheibe ein-, auf der Ostseite derselben austreten sehen.

Wo eine Sonnenfinsterniß wirklich total wird, entsteht eine ganz eigenthümliche Dunkelheit, der Himmel erscheint grau und man erblickt einzelne der helleren Sterne. Die schwarze Mondscheibe ist von einer wallenden breiten Lichtung umgeben, von welcher aus sich gelbliche Strahlen verbreiten.

Totale Sonnenfinsternisse machen auf die ganze Thierwelt einen merkwürdigen Eindruck; Vögel fliegen wie verscheucht umher, Hunde heulen, Pferde und andere Thiere zeigen eine unruhige Aengstlichkeit; kein Wunder also, wenn diese an einem bestimmten Orte der Erde doch nur höchst selten eintretende Erscheinung auch ungebildete und abergläubische Menschen in Furcht und Schrecken versetzt.

Die eigenthümliche Erscheinung des Strahlenkranzes, welche man während einer totalen Sonnenfinsterniß wahrnimmt, ist bereits am Schlusse des dritten Capitels besprochen worden.

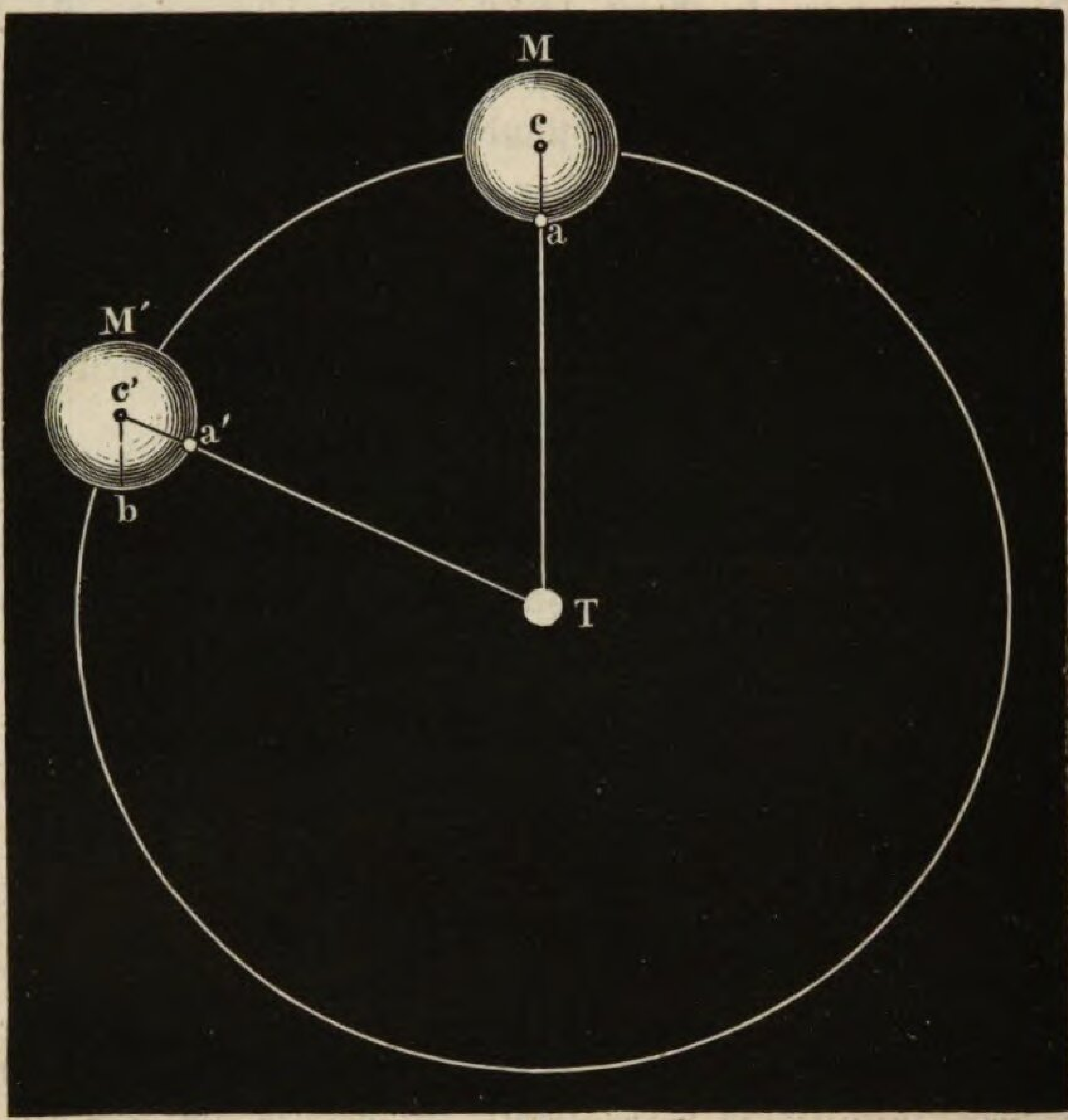
Axendrehung des Mondes. Schon mit bloßem Auge unterscheidet man auf der Mondscheibe Flecken, die man durch ein Fernrohr größtentheils als von Gebirgen herrührend erkennt, und welche dem Monde eine bestimmte Zeichnung geben. Diese Zeichnung bleibt nun stets unverändert, d. h. die einzelnen Flecke behalten ihre Stellung auf der Mondoberfläche, geringe Schwankungen abgerechnet, unverändert bei; ein Flecken, welcher einmal in der Mitte der Scheibe liegt, wird uns immer an dieser Stelle erscheinen, er rückt nie an den Rand; bestimmte Flecken werden immer am westlichen, andere werden stets am östlichen Rande bleiben: kurz, der Mond wendet uns immer dieselbe Seite zu. 71

Es kommt uns also nur die eine Hälfte der Mondoberfläche zu Gesicht, die andere Hälfte bleibt uns stets unsichtbar.

Nach dieser Beobachtung läßt es sich nun leicht ausmitteln, wie es sich mit der Axendrehung des Mondes verhält. In Fig. 118 (a. f. S.) sei T die Erde, M die Stellung des Mondes in irgend einem beliebigen Augenblick. Wenn nun der Punkt a derjenige ist, welcher, von der Erde aus gesehen, gerade die Mitte der Mondscheibe bildet, so muß dieser Punkt in die Stellung a' kommen, während der Mond von M bis M' in seiner Bahn fortschreitet, wenn stets derselbe Punkt die Mitte der von der Erde sichtbaren Mondhälfte bilden soll.

Fände während der fortschreitenden Bewegung des Mondes gar keine Axendrehung desselben Statt, so müßte der Punkt *a* an die Stelle *b* gelangen,

Fig. 118.



während der Mond von *M* bis *M′* fortschreitet, so daß derselbe Mondhalbmesser, welcher vorher die Lage *ca* hatte, nun die parallele Richtung *c′b* einnähme. Wir haben aber gesehen, daß der fragliche Radius jetzt, wo der Mond in *M′* angekommen ist, die Lage *c′a′* haben muß; während also der Mond von *M* nach *M′* fortgeschritten ist, hat er sich um den Winkel *bc′a′* gedreht, welcher offenbar dem Winkel *cTc′* gleich ist.

Aus der Thatsache, daß der Mond der Erde stets dieselbe Seite zuwendet, ergiebt sich also, daß er eine Axendrehung hat und daß er seine Umdrehung um seine Axe in derselben Zeit vollendet, in welcher er seine Bahn um die Erde zurücklegt, die Rotationsdauer des Mondes ist also seiner siderischen Revolution gleich.

Dieser langsamen Axendrehung entsprechend hat der Mond keine irgend wahrnehmbare Abplattung.

72 **Libration des Mondes.** Obgleich uns im Wesentlichen stets dieselbe Mondhälfte zugekehrt ist, so finden doch kleine Schwankungen in der Stellung der Mondoberfläche gegen die Erde Statt; bald sehen wir etwas weiter auf die Westseite, dann wieder etwas mehr auf die Ostseite der Mondkugel; bald ist uns der Nordpol des Mondes und dann wieder der Südpol desselben etwas mehr zugewandt; kurz der größte Kreis, welcher die uns sichtbare Mondhälfte begränzt, hat auf der Mondkugel keine absolut feste Lage, sondern er wird sowohl in der Richtung von Ost nach West, als auch in der Richtung von Nord

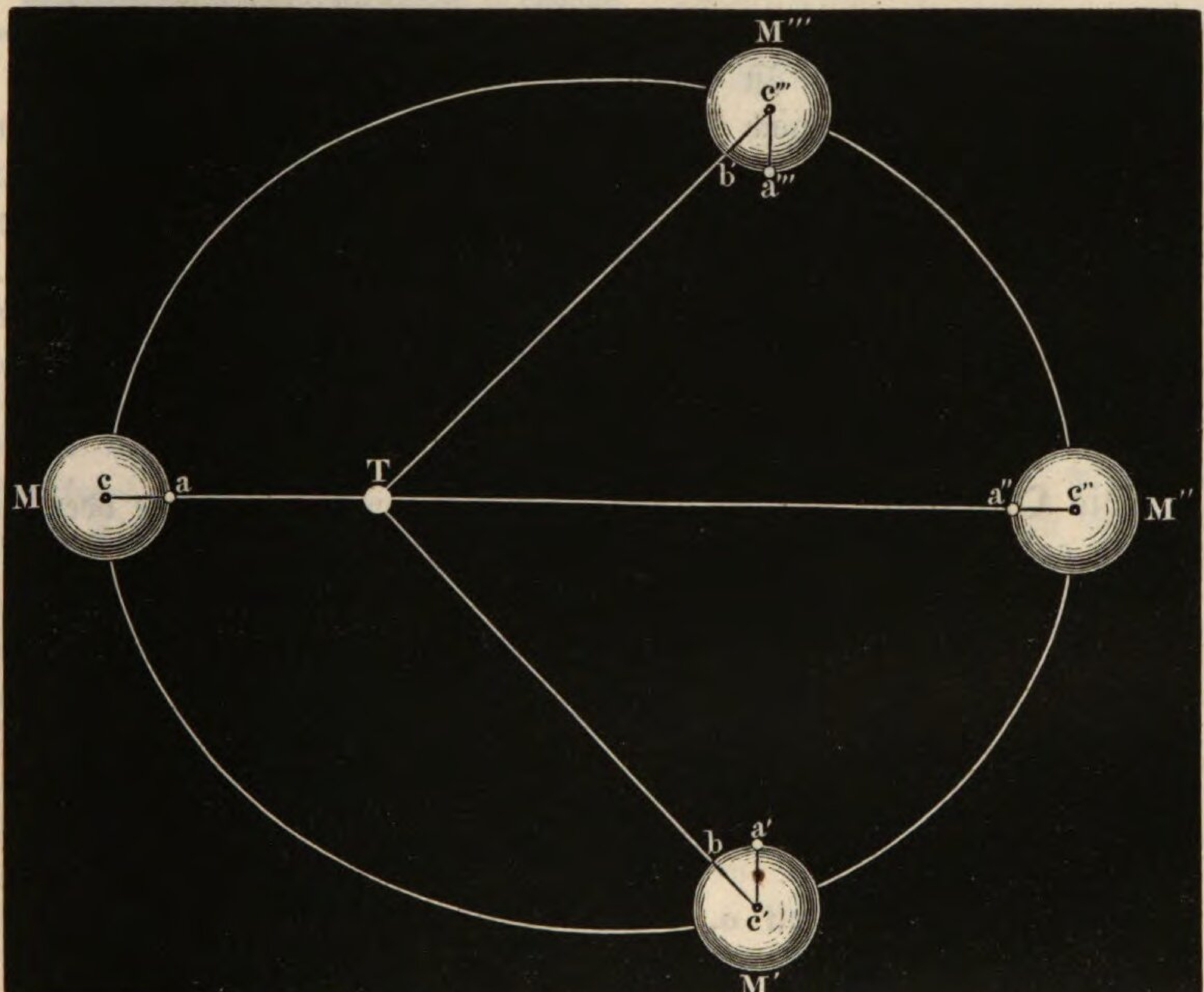
nach Süd etwas hin und her geschoben. Man bezeichnet diese Erscheinung mit dem Namen der Libration.

Insofern die erwähnte Schwankung in der Ebene des Mondäquators stattfindet, so daß alle Längenkreise des Mondes für den Beschauer auf der Erde bald etwas mehr nach Osten, dann wieder etwas mehr nach Westen gedreht erscheinen, nennt man sie Libration der Länge, während die rechtwinklig zum Mondäquator stattfindenden scheinbaren Schwankungen Libration der Breite genannt werden.

Die Libration der Länge rührt daher, daß der Mond sich in einer Ellipse um die Erde bewegt, während seine Axendrehung stets mit gleichförmiger Geschwindigkeit vor sich geht.

Fig. 119 stelle die elliptische Mondsbahn dar, in deren einem Brennpunkte

Fig. 119.



T die Erde steht. Zur Zeit des Perigäums steht der Mond in *M*, und *a* ist der Punkt, welcher, von der Erde aus gesehen, gerade die Mitte der Mondscheibe einnimmt. Nachdem nun der vierte Theil der ganzen Umlaufszeit verflossen ist, befindet sich der Mond in *M'*; er hat aber unterdessen eine Drehung von 90° um seine Axe gemacht, der Mondhalbmesser, welcher vorher die Lage *ca* hatte, wird sich also jetzt in der Lage *c'a'* befinden; dieser Radius ist aber jetzt nicht mehr derjenige, dessen Verlängerung gerade zur Erde hinführt, sondern *b* ist der Punkt, welcher, von der Erde aus gesehen, die Mitte der Mondscheibe

einnimmt, die Mondoberfläche erscheint also gegen die Erde um den Winkel $bc'a'$ nach Osten gedreht.

Ist der Mond im Apogäum, also in M'', angelangt, so ist, von dem Moment des Perigäums aus gerechnet, die Hälfte seiner ganzen Umlaufszeit verflossen; in dieser Zeit hat er aber eine Drehung von 180° um seine Axe gemacht, der Punkt a nimmt also wieder die Mitte der Mondscheibe ein, während derselbe Punkt sich in a''' befindet, also um den Winkel $b'c'''a'''$ nach Westen gedreht erscheint, wenn der Mond nach M''' gelangt ist.

Die Libration der Länge (also der Winkel $bc'a'$ oder $b'c'''a'''$) kann bis zu 7° 53′ auf jeder Seite wachsen.

Wäre die Mondaxe genau rechtwinklig zur Mondsbahn, so würden wir nur die Libration der Länge wahrnehmen; nun aber macht der Mondäquator mit der Ebene der Mondsbahn einen Winkel, welcher im Mittel 6° 38′ beträgt, und so kommt es, daß die Mondpole nicht — wie es bei streng senkrechter Lage seiner Axe sein würde — im Rande erscheinen, sondern uns abwechselnd etwas zu- und abgewandt sind. Ist uns der Nordpol des Mondes zugewandt, so werden alle Flecken mehr nach Süden rücken; mehr nach Norden aber, wenn gerade der Südpol uns zugekehrt ist, und so ist also die Libration der Breite, welche im Maximo 6° 47′ beträgt, eine Folge von der schiefen Stellung der Mondaxe gegen seine Bahn.

Es ist klar, daß die Ansicht der Mondscheibe, von verschiedenen Orten der Erde aus gesehen, nicht genau dieselbe ist; die aus dieser Ursache stammenden Variationen werden parallaktische Libration genannt.

73 **Die Oberfläche des Mondes.** Mit unbewaffnetem Auge oder auch durch ein ganz schwach vergrößerndes Fernrohr betrachtet, erscheint der Vollmond als eine weiße Scheibe, welche mit mehreren grauen Flecken bedeckt ist; man hielt früher diese dunkleren Stellen für Meere, die helleren für Land, und obgleich man sich später davon überzeugte, daß auf dem Monde keine Meere sind, so haben diese dunklen Partien doch ihre alten Namen beibehalten, und so findet man denn auf den Mondkarten noch immer ein Mare humorum, ein Mare nubium u. s. w. Auf unserer Mondkarte, Tab. XI., sind bezeichnet:

Mare nubium	mit *a*,	Mare tranquillum	mit *e*,
Mare humorum	» *b*,	Mare crisium	» *f*,
Mare imbrium	» *c*,	Mare foecunditatis	» *g*,
Mare serenitatis	» *d*,	Mare nectaris	» *h*,

Eine genauere Untersuchung des Mondes durch Fernröhre zeigt, daß die grau erscheinenden Mondgegenden verhältnißmäßig eben, die helleren mehr gebirgig sind. Die Unebenheit der Oberfläche zeigt sich am besten, wenn man den Mond zu einer Zeit beobachtet, wo er uns sichelförmig erscheint; man erblickt alsdann den inneren Rand unregelmäßig ausgezackt, ungefähr so wie Fig. 120 zeigt, was nur von der Unebenheit des Bodens herrührt. Man sieht sogar innerhalb des noch ganz dunklen Theiles der Mondoberfläche in der

Nähe des schon erleuchteten Theiles einzelne isolirt liegende helle Punkte, welche offenbar Bergspitzen sind, welche von der Sonne schon beschienen werden, während die umliegende Ebene noch ganz im Schatten liegt.

Fig. 120.



Galiläi, welcher zuerst die Mondgebirge erkannt und gemessen hat, schätzt zur Zeit der Quadratur den größten Abstand solcher isolirten Punkte von der Gränzlinie des erleuchteten Theiles zu $1/_{20}$ des Monddurchmessers, und daraus ergiebt sich denn, daß einzelne Mondberge bis zu einer Höhe von ungefähr 24000 Fuß ansteigen. Die Gebirge des Mondes sind also eben so hoch wie die unserer Erde.

Auch aus der Länge der Schatten kann man auf die Höhe der Gebirge schließen, und ist so ungefähr zu dem gleichen Resultate gelangt.

Während einige Mondgebirge Ketten bilden, aus denen sich einzelne Bergspitzen erheben, besteht die Mehrzahl der Mondgebirge aus ringförmigen Wällen, welche meist eine Ebene umschließen, in deren Mitte sich manchmal wieder ein Bergkegel erhebt, der aber nie die Höhe des Walles erreicht. Die mittelgroßen dieser Kreisbildungen von 2 bis 10 Meilen Durchmesser werden mit dem Namen der Ringgebirge bezeichnet, während man die größeren Wallebenen nennt. Die kleineren Bildungen dieser Art, welche meist viel regelmäßiger gebildet sind als die größeren, heißen Krater. Ob es in der That die Krater ausgebrannter Vulcane sind, dürfte wohl noch zweifelhaft sein.

In unserer Mondkarte Tab. XI. sind diese ringförmigen Bildungen deutlich zu erkennen; der Maßstab derselben ist der Art, daß 10 Meilen auf der Karte die Länge von 3,8 Millimeter einnehmen, 1 Meile also nahezu durch die Länge von 0,4 Millimeter dargestellt wird.

Die Mondberge sind meist nach berühmten Astronomen und anderen Gelehrten genannt. In unserer Karte sind einige der ausgezeichnetsten Ringgebirge mit Ziffern bezeichnet und diese führen folgende Namen, nämlich:

1) Archimedes,	8) Purbach,	15) Galiläi,
2) Plato,	9) Regiomontan,	16) Grimaldi,
3) Copernicus,	10) Ptolemäus,	17) Aristarch,
4) Kepler,	11) Apian,	18) Autolicus,
5) Gassendi,	12) Frascator,	19) Aristippus,
6) Tycho,	13) Plinius,	20) Eratosthenes,
7) Arzach,	14) Manilius,	21) Aristoteles.

Wenn der Mond nicht voll ist, so ist die Gränze zwischen dem erleuchteten und dem dunklen Theile, so unregelmäßig gezackt sie auch sein mag, doch stets scharf, d. h. es findet kein allmäliger Uebergang aus Licht in Schatten Statt; auf dem Monde fehlt also das, was wir auf unserer Erde mit dem Namen der Dämmerung bezeichnen. Der Mangel der Dämmerung beweist aber, daß der Mond keine Atmosphäre hat, daß es auf seiner Oberfläche also auch keine Meere geben kann.

Es ist bereits in §. 66 S. 151 angeführt worden, daß bei Bedeckungen von Fixsternen durch den Mond das Verschwinden derselben, sowie auch das Wiedererscheinen derselben plötzlich ist, und zwar ist weder vor dem Eintritt noch nach dem Austritt des Sternes eine Ablenkung desselben wahrzunehmen, was ebenfalls beweist, daß der Mond keine Atmosphäre hat.

74 **Die Trabanten des Jupiter.** Wenn man den Jupiter durch ein Fernrohr von mäßiger Vergrößerung betrachtet, so sieht man, daß er von vier kleinen Sternchen begleitet ist, welche nahezu in einer geraden Linie aufgestellt erscheinen. Schon nach einigen Stunden läßt sich eine Veränderung in der gegenseitigen Stellung dieser Sternchen wahrnehmen. Fig. 121 stellt den

Fig. 121.



Jupiter mit seinen Trabanten dar, wie er sich vom 21. bis 29. Juni 1851 Abends um 10 Uhr zeigte.

Aus einer genaueren Beobachtung der Jupiterstrabanten ergiebt sich nun, daß sie in Kreisen um den Planeten herumlaufen; die Ebene dieser Bahnen fällt beinahe mit der Ebene des Jupitersäquators zusammen und deshalb erscheinen sie uns fast ganz zur Linie verkürzt und wir sehen die einzelnen Trabanten in dieser Linie bald von Ost nach West und dann wieder von West nach Ost fortschreiten.

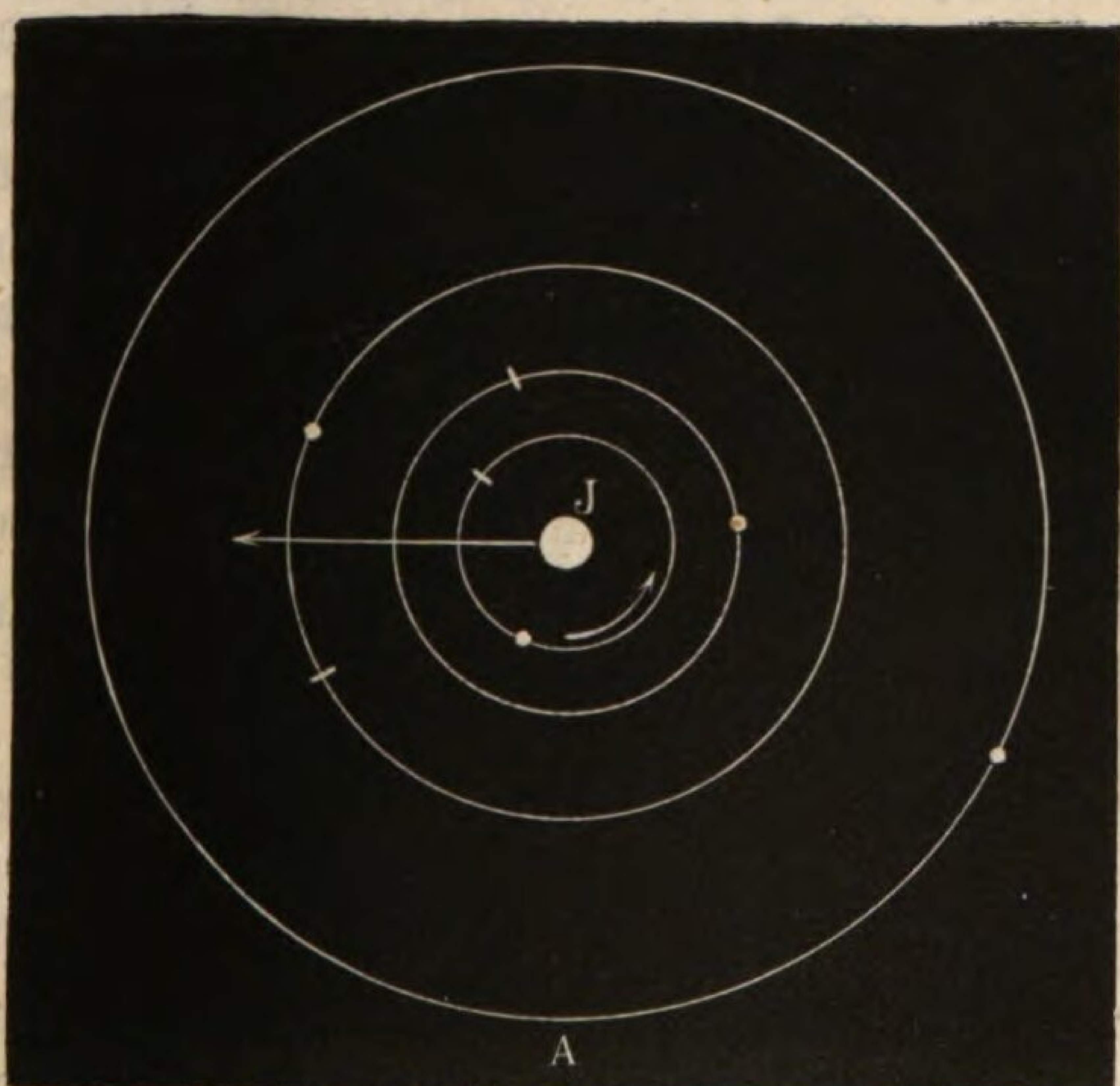
Die folgende Tabelle giebt die mittlere Entfernung der einzelnen Satelliten, ausgedrückt in Jupitershalbmessern, und ihre Umlaufszeit:

	Abstände.	Umlaufszeit.
1. Satellit	6,05	1,769 Tage.
2. »	9,62	3,551 »
3. »	15,35	7,155 »
4. »	27,00	16,689 »

Man ersieht aus dieser Tabelle, daß die Jupiterstrabanten das dritte Kepler'sche Gesetz befolgen, daß sich nämlich die Quadrate ihrer Umlaufszeiten verhalten wie die dritten Potenzen ihrer mittleren Abstände vom Jupiter. Ebenso befolgen sie auch die beiden ersten Kepler'schen Gesetze.

Fig. 122 stellt den Jupiter mit den Bahnen seiner Trabanten in richtigem Größeverhältniß dar. Die Stellung jedes der vier Satelliten in seiner Bahn am 1. October 1856 Abends 10 Uhr ist durch einen Punkt, die Stellung derselben in derselben Stunde des folgenden Tages durch einen kleinen Strich bezeichnet, vorausgesetzt, daß sich die Erde in der Richtung von *J* nach *A* hin befindet; daraus ergiebt sich nun, daß uns die Jupiterstrabanten am 1. und 2. October 1856 Abends 10 Uhr die in Fig. 123 (a. f. S.) dargestellten Constellationen zeigen werden.

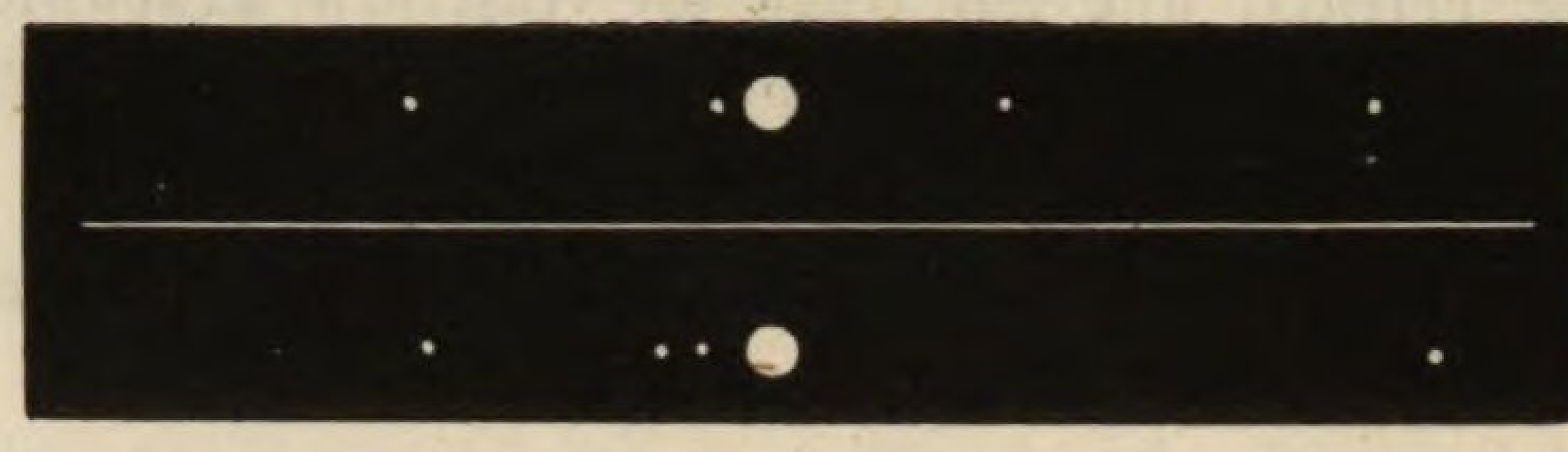
Fig. 122.



Von der Erde aus gesehen sind die mittleren scheinbaren Durchmesser der vier Jupitersmonde:

I.	1,0″	III.	1,5″
II.	0,9″	IV.	1,3″,

Fig. 123.



die wahren Durchmesser sind also:

I.	529	geogr. Meilen.
II.	475	» »
III.	776	» »
IV.	664	» »

Das Ansehen dieser Trabanten ist ungefähr das von Sternen sechster Größe, man würde sie also wahrscheinlich mit bloßem Auge wahrnehmen können, wenn sie nicht durch die Nähe ihres glänzenden Planeten unsichtbar blieben.

An den Bahnen der beiden inneren Trabanten kann man keine Abweichung von der Kreisgestalt nachweisen, die Bahnen der beiden äußeren zeigen aber eine geringe Excentricität. Die Neigung der Bahnen gegen die Ebene des Jupitersäquators ist sehr gering, sie übersteigt nicht die Größe von einigen Minuten.

Da der Durchmesser des Jupiter sehr groß ist und die Trabanten ihm verhältnißmäßig sehr nahe stehen, da ferner die Neigung ihrer Bahnen gegen den Aequator des Planeten und gegen die Bahn desselben sehr gering ist, so ereignet sich bei jedem Umlauf dieser Monde eine Sonnen- und eine Mondfinsterniß. Nur der vierte geht manchmal über oder unter dem Jupitersschatten vorbei, sowie denn auch sein Schatten manchmal nördlich oder südlich vom Jupiter an demselben vorübergeht.

Mit guten Fernrohren sieht man den Schatten, welchen die Trabanten auf den Jupiter werfen, als einen schwarzen Punkt über denselben hingehen.

In der Zeit von ♃ ☌ ☉ bis ♃ ☍ ☉ kann man von der Erde aus die Eintritte der Trabanten in den Jupitersschatten, von ♃ ☍ ☉ bis ♃ ☌ ☉ dagegen die Austritte der Monde aus diesen Schatten wahrnehmen. Da die Verfinsterungen der Jupiterstrabanten sehr häufig vorkommen, so können sie sehr gut als himmlische Signale für Längenbestimmungen auf der Erde benutzt werden. Die astronomischen Ephemeriden enthalten die bis auf Bruchtheile einer Secunde vorausberechneten Momente der von der Erde aus sichtbaren Ein- und Austritte der Jupiterstrabanten nach der Zeit des Meridians, unter welchem die Sternwarte liegt, auf welche sich die Ephemeriden beziehen.

Durch die sorgfältige Beobachtung der Verfinsterungen der Jupiterstrabanten gelang es dem dänischen Astronomen Römer im Jahre 1765, die Geschwindigkeit des Lichtes zu messen. Es wird davon im folgenden Buche ausführlicher die Rede sein.

75 **Die Trabanten der äußersten Planeten.** Sowohl Saturn als auch Uranus sind von Satelliten umkreist, ja man hat bereits einen Trabanten des Neptun entdeckt.

Die Trabanten des Saturn sind weit schwieriger sichtbar als die Jupitersmonde. Während letztere sogleich nach Erfindung der Fernrohre entdeckt wurden, wurde der hellste der Saturnstrabanten erst im Jahre 1655 von Huyghens aufgefunden.

Bis jetzt kennt man 8 Saturnstrabanten. Der von Huyghens entdeckte ist vom Saturn an gerechnet der sechste. Cassini entdeckte den siebenten, fünften, vierten und dritten von 1671 bis 1687. Den ersten und zweiten entdeckte Herschel mit seinem Riesenteleskope in den Jahren 1788 und 1789.

Nur der sechste Trabant (dessen Abstand vom Saturn 22 Halbmesser dieses Planeten und dessen Umlaufszeit 15,9 Tage beträgt) ist ziemlich leicht sichtbar; die übrigen können nur durch ganz ausgezeichnete Instrumente wahrgenommen werden. Die beiden innersten Trabanten wurden erst lange Zeit nach ihrer Entdeckung durch Herschel wieder von Anderen gesehen, und zwar der zweite von Lamont im Sommer 1836, der erste von den Astronomen des Collegio Romano im Juni 1838. Die Entfernung des ersten Trabanten vom Mittelpunkt des Saturn beträgt 3,14, die des zweiten beträgt 4,03 Halbmesser des Saturn.

Der achte Mond des Saturn wurde im Jahre 1848 fast gleichzeitig von Bond in Nordamerika und von Lossel in England beobachtet. Ueber seine Stellung im System ist bis jetzt noch nichts Näheres bekannt.

Während die Ebenen der übrigen Saturnstrabanten nicht stark von der Ebene des Ringes abweichen, beträgt die mittlere Neigung der Bahn des siebenten Trabanten gegen die Ringebene über 21 Grad.

Da Uranus selbst nur ein teleskopischer Planet ist, so ist wohl begreiflich, daß seine Satelliten sehr schwer sichtbar sind. Die beiden im Jahre 1787 von Herschel zuerst als ungemein feine Lichtpunkte entdeckten sind die einzigen, deren Existenz vollständig constatirt ist. Außer ihnen beobachtete Herschel noch vier andere, die aber seitdem kaum wieder gesehen worden sind, und von denen sich also mit Sicherheit nichts Näheres angeben läßt.

Die beiden mit Sicherheit bekannten Uranusmonde zeigen eine merkwürdige Ausnahme von den sonst in unserem Planetensystem herrschenden Verhältnissen, indem ihre Bahnen fast rechtwinklig auf der Uranusbahn stehen und rückläufig sind. Für den äußersten dieser beiden Satelliten beträgt die Neigung der Bahn gegen die Ebene der Uranusbahn ungefähr 79 Grad.

Bis jetzt ist erst ein Trabant des Neptun beobachtet worden, von welchem aber noch nichts Näheres bekannt ist.

Sechstes Capitel.

Die Kometen.

76 **Eigenthümlichkeiten der Kometen.** Außer den Planeten giebt es noch eine große Anzahl anderer Gestirne, welche sich gleichfalls um die Sonne bewegen, sich aber von denselben sowohl durch ihr Ansehen als auch durch die Natur ihrer Bahnen wesentlich unterscheiden, nämlich die Kometen. Mit diesem Namen, den wir durch Haarsterne übersetzen können, bezeichnete man schon im Alterthum solche Gestirne, welche, durch einen mehr oder minder großen Schweif ausgezeichnet, unvermuthet am Himmel erscheinen und, nachdem sie einen von den Planetenbahnen meist sehr abweichenden Weg unter den Fixsternen zurückgelegt haben, wieder verschwinden.

Der Aberglaube sah in den Kometen Vorboten von Krieg, Pest, Hungersnoth und von sonstigen Uebeln aller Art. Die Ungereimtheit einer solchen Meinung trat in dem Maße deutlicher hervor, als man das Wesen der Kometen näher kennen lernte und nachzuweisen im Stande war, daß ihre Bahnen denselben Bewegungsgesetzen folgen, wie die Planetenbahnen. Daß die Erscheinung der Kometen ebenso wenig mit den Schicksalen des Menschengeschlechts oder einzelner Individuen zusammenhängt, wie die Constellationen der Planeten, bedarf wohl keines weiteren Beweises; daß aber die Kometen auch keinen Einfluß auf den Gang der Erscheinungen in unserer Atmosphäre haben, daß sie namentlich nicht auf die Witterungsverhältnisse influiren, mußte man einsehen, sobald man ihre kosmische Natur erkannt hatte.

77 **Ansehen der Kometen.** Die meisten Kometen zeigen einen hellen rundlichen Kern, welcher von einer schwächer leuchtenden nebligen Hülle umgeben ist, die sich auf einer Seite, und zwar in der Regel auf der der Sonne abgewandten, in einen Schweif verlängert. Dieser Schweif erscheint uns manchmal unter einem Winkel von 60 bis 90, ja bis 100°, so daß er über einen bedeutenden Theil des Himmelsgewölbes wegzieht, wie man dies aus Fig. 124 und Fig. 125 ersieht. Die letztere stellt den Kometen von 1618 nach einer Ab-

Fig. 124.



Fig. 125



bildung im Theatrum europaeum, die erstere den Kometen von 1843 nach einer im ersten Jahrgang der Illustrirten Zeitung befindlichen naturgetreuen Abbildung dar, und zwar sammt der landschaftlichen Umgebung, wodurch man leicht einen Maßstab für die Größe der Erscheinung erhält.

Dieser Schweif ist bald gerade, bald mehr oder weniger gekrümmt, wie dies z. B. der schöne Komet von 1811 zeigt, welcher Fig. 126 dargestellt ist.

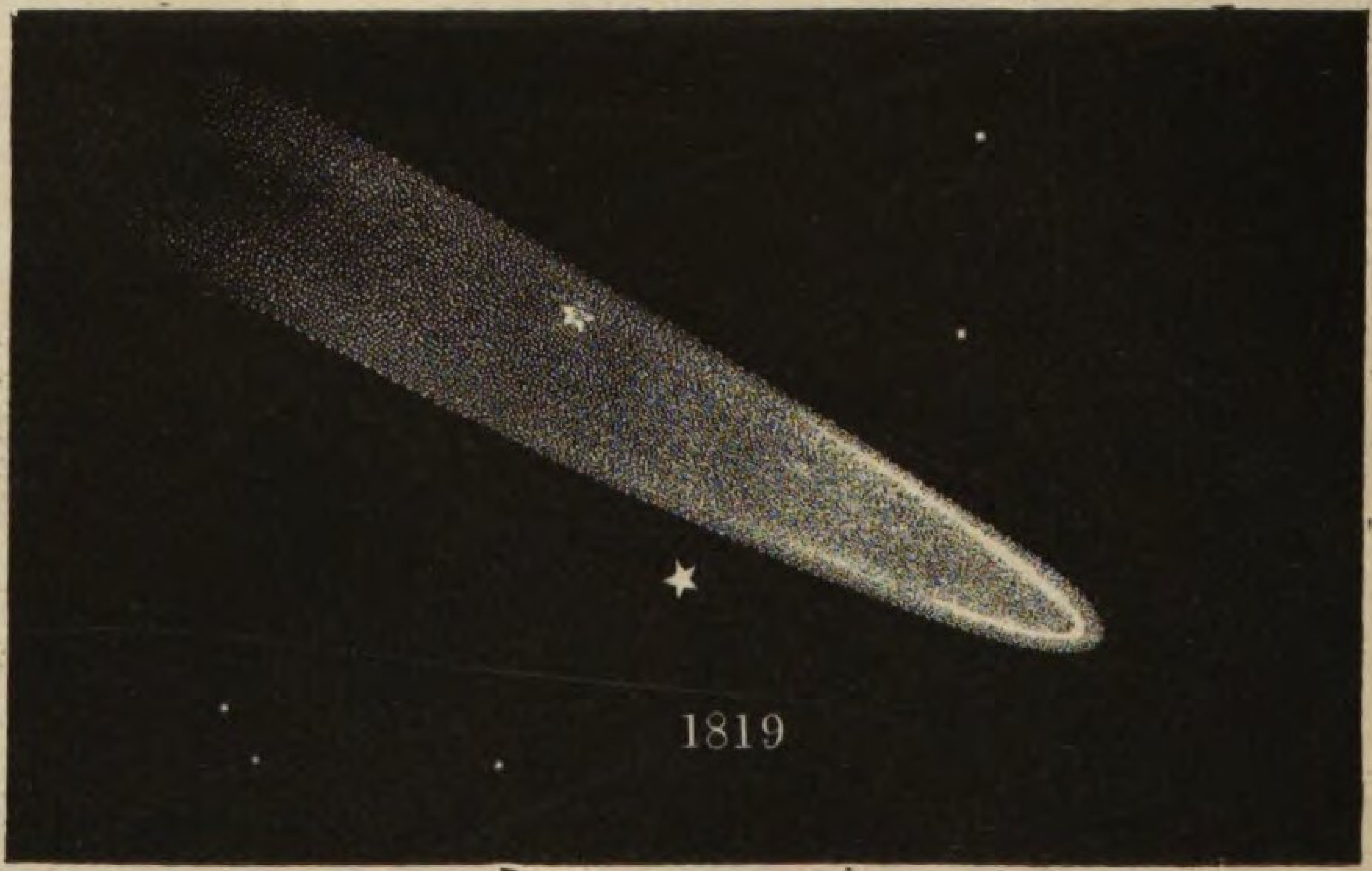
Fig. 126.



Comet von 1811.

Manchmal fehlt der Kern ganz, wie z. B. bei dem schönen Kometen, der im Jahre 1819 beobachtet wurde (Fig. 127).

Fig. 127.



1819

Die Gestalt des Schweifes ist mannigfachen Variationen unterworfen, ja für einen und denselben Kometen sieht man, wie sie sich allmälig ändert. Man hat sogar Kometen beobachtet, welche mehrere Schweife zeigen; der Komet vom Jahre 1744 hatte deren sogar sechs, Fig. 128, oder vielmehr sein Schweif er-

Fig. 128.

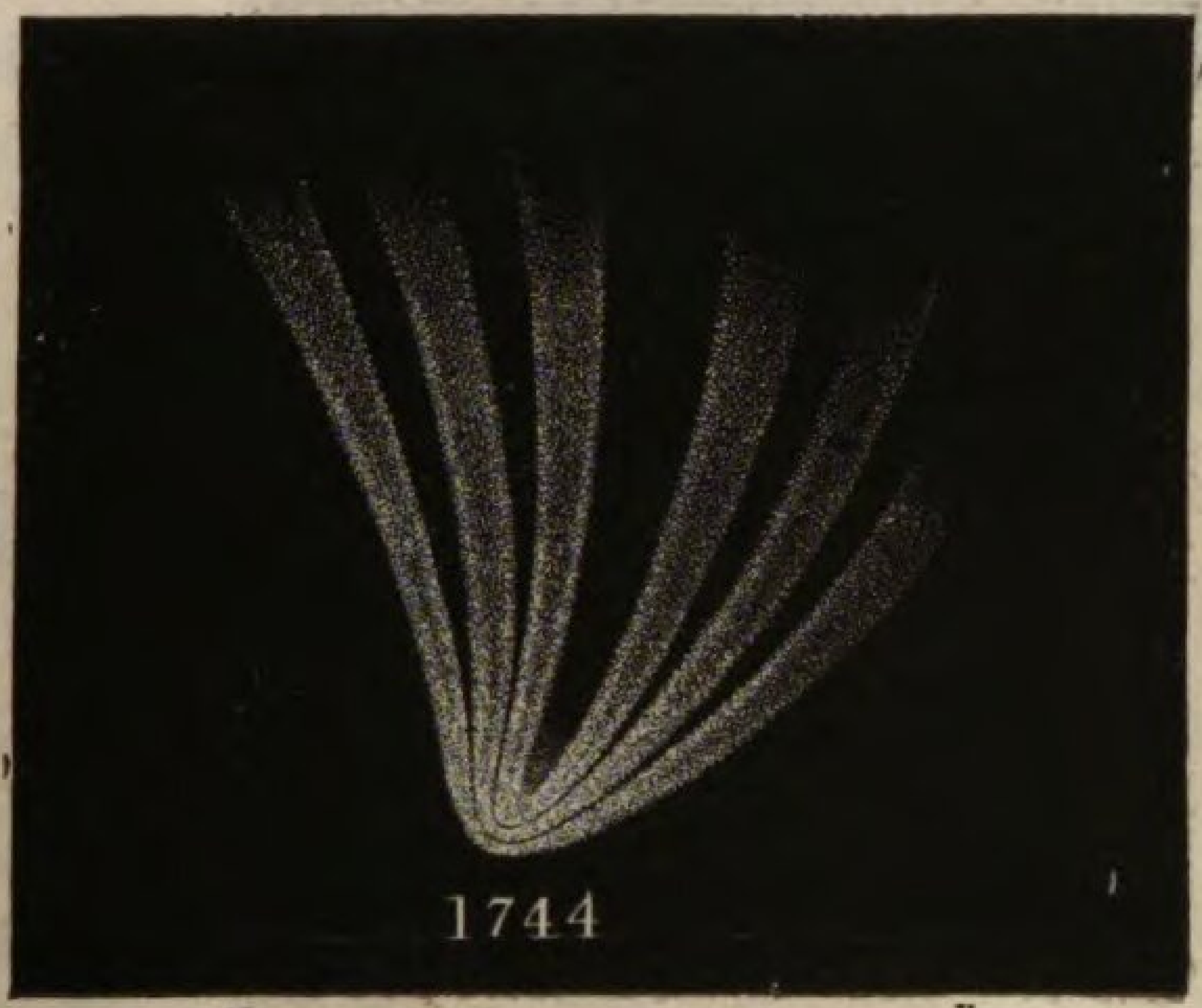


Fig. 129.



schien in sechs Theile gespalten, von denen jeder 4° breit und 30 bis 40° lang war. Bei dem sehr glänzenden Kometen von 1807, Fig. 129, theilte sich der Schweif in zwei Aeste.

Durch den Schweif der Kometen hindurch kann man die Fixsterne deutlich sehen, ja Bessel und Struve haben selbst durch die Kerne der Kometen hindurch noch Fixsterne beobachtet, woraus hervorgeht, daß die Masse der Kometen durchsichtig ist. Was den Ort der durch die Kometen hindurch gesehenen Sterne betrifft, so zeigt sich derselbe durchaus nicht merklich verändert, die Lichtstrahlen erleiden also, indem sie durch den Kometen hindurchgehen, keine Ablenkung durch Brechung, was darauf hindeutet, daß die Masse der Kometen nicht gasförmig sei, sondern aus discreten, durch leere Zwischenräume getrennten Theilchen bestehen muß.

Scheinbare Bahn der Kometen. Während die Planeten stets in 78
der Nähe der Ekliptik beobachtet werden, entfernen sich die Kometen meist sehr weit von derselben, und während die Planetenbahnen nur wenig gegen die Sonnenbahn geneigt sind, kommt es bei Kometen öfters vor, daß sie beinahe rechtwinklig auf der Ekliptik stehen, so daß sie oft in die Nähe des Polarsternes kommen. Der Komet vom Jahre 1618 erschien z. B. zuerst im Sternbild der Wage am 28. November, ungefähr in der Mitte zwischen den Sternen α und β, durchlief das Sternbild des Bootes und verschwand endlich am 18. Januar 1619 bei einer nördlichen Declination von 77° ungefähr auf der Linie, welche die Sterne α und β des großen Bären mit dem Polarsterne verbindet.

Als der Kern dieses Kometen ungefähr bei ζ des Bootes stand, Fig. 130 (a. f. S.), erstreckte sich der Schweif, einer Zeichnung des Cysatus zufolge, bis in die linke Vordertatze, d. h. bis zu den Sternen ι und $\varkappa$ des großen Bären.

Die Bahn des großen Kometen von 1680 und 1681 macht einen kleinen Winkel mit der Ekliptik. Der Komet erschien in der letzten Hälfte des November

Fig. 130.



1680 im Sternbild der Jungfrau. Am 27. November war seine geometrische Länge 193°, seine südliche Breite 1°; bis zum 5. December war seine geometrische Länge auf 236° und seine südliche Breite auf 2° 42′ gewachsen, er war

also während dieser Zeit, in welcher er in den Morgenstunden sichtbar war, ganz in der Nähe der Ekliptik geblieben; nach dem 7. December verschwand er in den Strahlen der Sonne, um am 22. December östlich von der Sonne wieder zu erscheinen. An diesem Tage war die geocentrische Länge des Kerns ungefähr 277°, seine nördliche Breite aber 7,5°. Er durchlief nun die Sternbilder des Adlers, des Delphins, des Pegasus, der Andromeda, des Triangels, und verschwand am 18. März 1681 in der Nähe des Sternes ζ des Perseus. Am 4. Februar war seine geocentrische Länge 39° bei einer nördlichen Breite von etwas über 19°. Man kann nach diesen Angaben die Bahn des fraglichen Kometen auf den Sternkarten Tab. III. und Tab. IV. verfolgen.

Wahre Gestalt der Kometenbahnen. Lange Zeit suchte man vergebens nach einer, den scheinbaren Lauf der Kometen genügend erklärenden Theorie. Erst Dörfel, ein Prediger zu Plauen im Voigtlande, stellte, durch die Erscheinung des großen Kometen von 1680 und 1681 veranlaßt, die Meinung auf: die Bahn der Kometen sei eine Parabel, in deren Brennpunkte der Mittelpunkt der Sonne liege. Durch Newton's neues Weltsystem fand alsbald Dörfel's Meinung ihre Bestätigung und genauere Bestimmung. 79

Auf Tab. XII. ist die parabolische Bahn des Kometen von 1680 und 1681 dargestellt. Mit Hülfe dieser Figur wird man sich überzeugen können, daß die parabolische Hypothese den vorher angegebenen scheinbaren Lauf des Kometen genügend erklärt (natürlich nur in Beziehung auf die Veränderungen in der Länge; um die Veränderungen in der Breite nachzuweisen, müßte man noch die Neigung der parabolischen Bahn in Betracht ziehen, wozu, wenn es durch Zeichnung geschehen sollte, noch eine weitere Figur nöthig wäre).

Als der Komet am 17. December 1680 durch sein Perihelium ging, war er nur noch 128000 Meilen von dem Mittelpunkte und nur 32000 Meilen von der Oberfläche der Sonne entfernt. In dieser ungemeinen Nähe mußte, von ihm aus gesehen, die Sonne als eine Scheibe von 96° Durchmesser erscheinen; gleichwohl ist er nach dem Durchgang durch das Perihelium ein Komet geblieben.

Nachdem man einmal die Bahnen bestimmen gelernt hatte, welche die Kometen in unserem Sonnensystem durchlaufen, ergab sich auch der wahre Ort, den sie an bestimmten Tagen im Raume einnahmen. So ersehen wir aus Tab. XII., daß der Komet von 1680 und 1681 am 22. December 1680 nahezu 4 Millionen Meilen von der Sonne und etwas über 10 Millionen Meilen von der Erde abstand (da die Entfernung der Erde von der Sonne in runder Zahl 20 Millionen Meilen beträgt).

Ferner war man nun auch im Stande, die wahre Länge der Kometenschweife zu bestimmen, und fand hier oft ganz enorme Dimensionen. Der Schweif des Kometen von 1618 erreichte eine Länge von 9 Millionen Meilen, der Schweif des Kometen von 1680 und 1681 muß mindestens 10 Millionen Meilen betragen haben. Der Komet von 1811 hatte einen Schweif von 12 bis 15 Millionen Meilen.

Die Kometen bleiben uns nur so lange sichtbar, als sie sich in der Nähe ihres Periheliums befinden und nicht durch die Strahlen der Sonne überglänzt werden. Die meisten verschwinden, sobald sie sich über die Jupitersbahn hinaus von der Sonne entfernen.

Die Bahn eines Kometen kann möglicherweise eine Hyperbel, oder eine Parabel, oder endlich eine Ellipse sein. Bewegt sich der Komet in einer der beiden erstgenannten Curven, so kann er uns überhaupt nur einmal erscheinen; er kommt gewissermaßen aus unendlicher Ferne, um nach einiger Zeit unser Sonnensystem auf immer wieder zu verlassen. Eine solche Annahme ist nun in mancher Beziehung unwahrscheinlich, und es läßt sich eher annehmen, daß die Kometen sich in sehr langgestreckten Ellipsen bewegen.

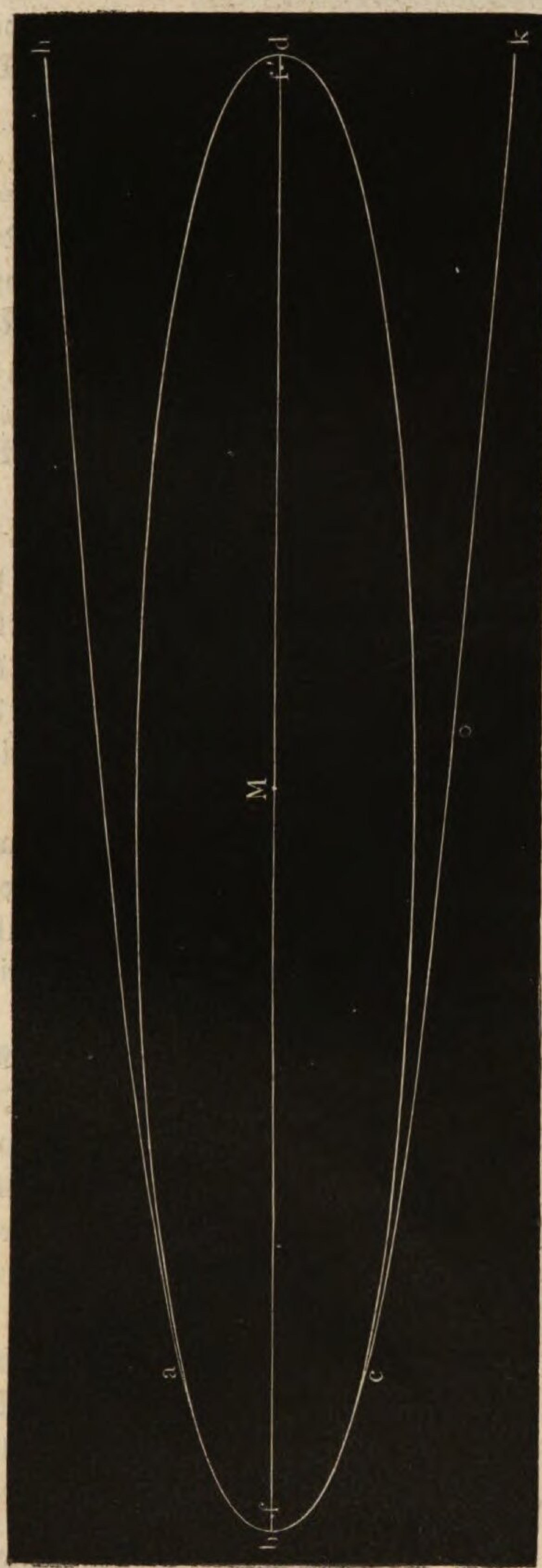


Fig. 131.

Der Umstand, daß der beobachtete Lauf der Kometen sich in der Regel sehr gut durch eine parabolische Bahn darstellen läßt, widerspricht aber dieser letzteren Ansicht gar nicht; denn eine Parabel und eine sehr stark excentrische Ellipse, welche einen gemeinschaftlichen Brennpunkt *f*, Fig. 131, und einen gemeinschaftlichen Gipfel *b* haben, fallen in der Nähe dieses Gipfels, welcher dem Perihelium entspricht, sehr nahe zusammen. So kann in der That das Bogenstück *abc*, Fig. 131, ebenso gut ein Stück der Parabel *habck* als auch ein Stück der Ellipse *abcd* sein. Die Kometen sind uns aber gerade nur in der Nähe des Periheliums sichtbar; wenn sich also auch ihre scheinbare Bahn ganz gut als ein Stück einer Parabel berechnen läßt, so ist damit doch die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, daß die Bahn in Wirklichkeit eine Ellipse sei.

In den meisten Fällen genügt die parabolische Bahn den Beobachtun-

gen und man behält sie dann bei, weil ihre Berechnung ungleich einfacher ist als die einer elliptischen Bahn.

Berechnet man aus den beobachteten Kometenorten eine elliptische Bahn, so wird man begreiflicherweise in Betreff einiger Bahnelemente keine große Genauigkeit zu erwarten haben; namentlich ist dies für die Länge der großen Axe und die Umlaufszeit der Fall.

Enke hat nach den zuverlässigsten Beobachtungen des Kometen von 1680 und 1681 eine elliptische Bahn desselben berechnet. Dieser Rechnung zufolge würde er im Aphelium ungefähr 853 Erdweiten, also 17000 Millionen Meilen weit von der Sonne entfernt sein. Sein Abstand im Aphelium wäre also 140000mal größer als der im Perihelium. Als wahrscheinliche Umlaufszeit ergab sich ungefähr 8800 Jahre.

Mag nun die Kometenbahn eine parabolische oder eine elliptische sein, so findet auch hier das zweite Kepler'sche Gesetz seine volle Anwendung, d. h. die Geschwindigkeit des Kometen in seiner Bahn ist stets eine solche, daß der von der Sonne zum Kometen gezogene Leitstrahl in gleichen Zeiten gleiche Flächenräume zurücklegt. Die Geschwindigkeit des Kometen ist also am größten, während er das Perihelium passirt.

Für den Kometen von 1680 und 1681 ergiebt sich aus Enke's Rechnungen, daß er im Perihelium 53 Meilen, im Aphelium aber nur 10 Fuß in der Secunde zurücklegt. Im Aphelium ist also seine Geschwindigkeit ungefähr 116600mal geringer als im Perihelium.

Wiederkehrende Kometen. Halley, ein Zeitgenosse Newton's, 80
bemerkte, daß die Elemente der Bahn des schönen Kometen von 1682 fast genau dieselben seien, wie die der Kometen von 1607 und 1531.

Folgendes sind die fraglichen Elemente:

Komet von	Länge ☊.	Neigung der Bahn.	Länge des Periheliums.	Abstand des Periheliums von ⊙.
1531	49° 25′	17° 56′	301° 39′	0,57 Erdweiten.
1607	50 21	17 2	302 16	0,58 »
1682	50 48	17 42	301 36	0,58 »

Alle drei waren rückläufig. Er wurde dadurch auf den Gedanken geleitet, daß es wohl ein und derselbe Komet sei, welcher in den drei genannten Jahren erschienen war und der eine Umlaufszeit von 75 bis 76 Jahren habe. Er kündigte seine Wiederkehr auf das Ende des Jahres 1758 oder den Anfang des Jahres 1759 an, und in der That ging er am 12. März 1759 wieder durchs Perihelium.

Eine abermalige, voraus angekündigte Erscheinung des Halley'schen Kometen fand im Jahre 1835 Statt, wo er am 16. November das Perihelium passirte.

Die erste durch astronomische Beobachtungen hinlänglich constatirte Erscheinung des Halley'schen Kometen ist die von 1456.

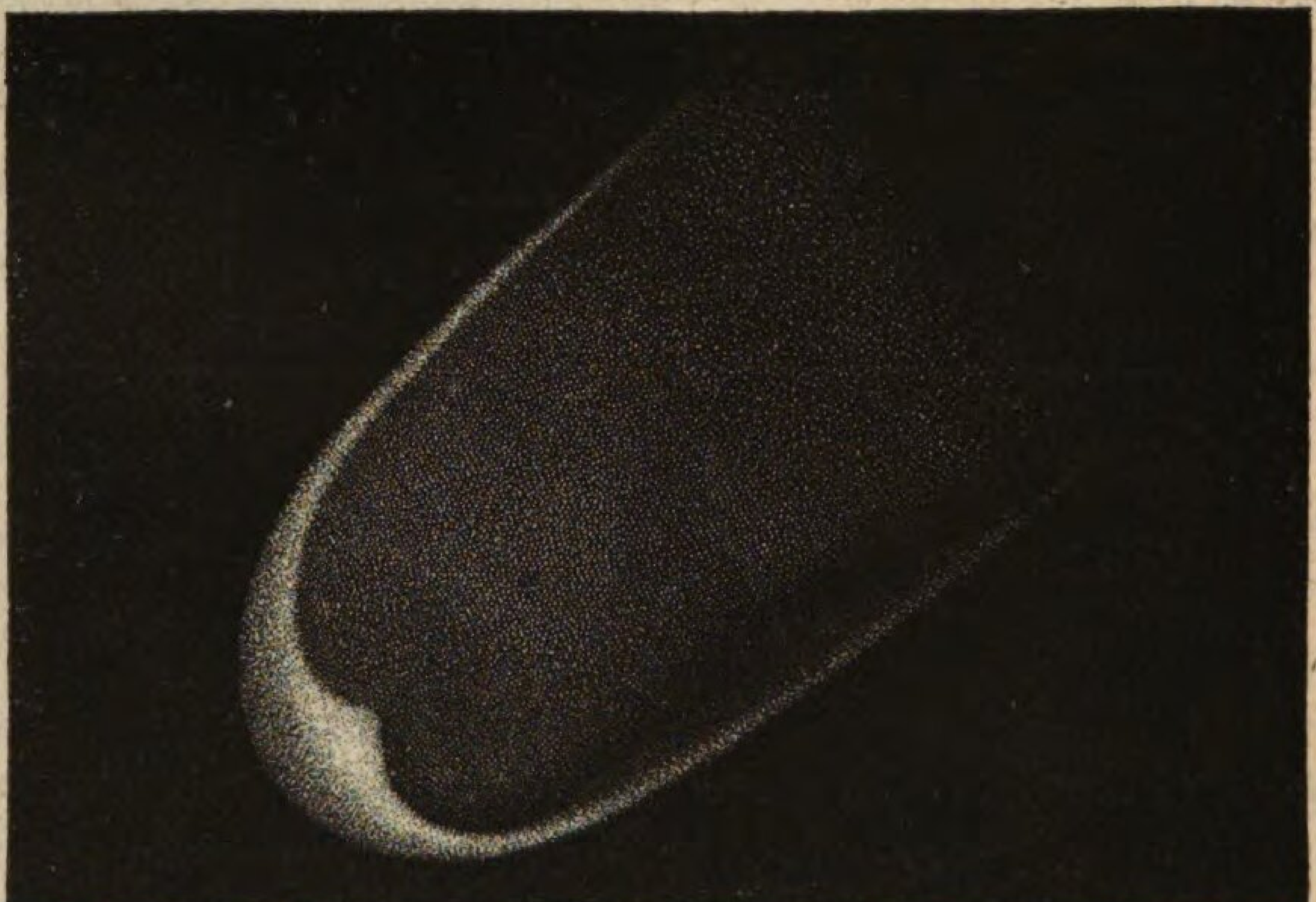
Die halbe große Axe der Bahn des Halley'schen Kometen beträgt ungefähr 19 Erdweiten; in seinem Aphelium ist er ungefähr 37,4 Erdweiten von dem der Sonne entfernt.

Im Jahre 1456 erreichte der Schweif des Halley'schen Kometen eine Länge von 60 Graden, und ebenso zeigte er im Jahre 1531 einen schönen Schweif. Im Jahre 1607 dagegen erschien er nicht besonders glänzend und namentlich war sein Schweif sehr klein, was wohl darin lag, daß er der Erde schon lange Zeit vor seinem Perihelium wieder verschwand. Im Jahre 1682 erschien er wieder mit starkem Glanze, obgleich er dem Kometen von 1680 nicht gleich kam.

Im Jahre 1759 konnte der Halley'sche Komet nur eine kurze Zeit mit bloßem Auge gesehen werden. An Glanz stand er diesmal der Erscheinung von 1682 nach, aber nicht in Beziehung auf die Länge des Schweifes, welche bis auf 47° stieg.

Die Erscheinung des Halley'schen Kometen im Jahre 1835 war ziemlich unscheinbar und befriedigte die Erwartungen des größeren Publicums keineswegs; dagegen zeigte er ein ganz eigenthümliches, unerwartetes Phänomen, welches vielleicht zu Aufschlüssen über das Wesen der Kometen und namentlich ihrer Schweife führen könnte. Von dem kleinen Kern, welcher kaum 30 Meilen im Durchmesser haben konnte, ging nämlich eine fächerartige, gegen die Sonne gerichtete Flamme aus (Fig. 132), welche sich aber zu beiden Seiten zurück-

Fig. 132.



krümmte und so allmälig in den Schweif überzugehen schien. Bessel ist geneigt, dies als eine von dem Kometenkerne ausgehende Strömung einer hellen Materie anzusehen.

Die nächste Erscheinung des Halley'schen Kometen wird im Jahre 1911 stattfinden.

Dies ist der einzige größere, mit bloßem Auge sichtbare Komet, dessen Umlaufsperiode bekannt ist.

Im Jahre 1815 entdeckte Olbers einen teleskopischen Kometen, aus dessen, fast ein halbes Jahr lang fortgesetzten Beobachtungen sich eine Umlaufszeit von 74 bis 75 Jahren ergab.

Ein dritter Komet, dessen Umlaufszeit man kennt, ist der Enke'sche. Dieser, nach seinem Berechner genannte Komet ist gleichfalls nur teleskopisch; er wurde in November 1818 von Pons in Marseille entdeckt. Enke erkannte, als er nach den beobachteten Oertern eine Bahn berechnete, daß er mit den in den Jahren 1786, 1795 und 1805 beobachteten identisch sein müsse. Die Umlaufszeit dieses Kometen beträgt nur 1208 Tage. Sein kleinster Abstand von der Sonne beträgt 0,33, sein größter 4,07 Erdweiten. Die Neigung seiner Bahn gegen die Ekliptik ist 13°; die Länge des aufsteigenden Knotens 335°, die Länge des Periheliums 157°. Der Enke'sche Komet hat eine kugelförmige Gestalt ohne merklichen Schweif.

Der Biela'sche Komet ist gleichfalls nicht mit bloßem Auge sichtbar; im Fernrohre erscheint er als rundlicher Nebel, dessen Durchmesser im Jahre 1805 nach Schröter's Messungen 9460 Meilen betrug. Im Perihelium ist er 0,94, im Aphelium 6,26 Erdweiten von der Sonne entfernt. Die Neigung seiner Bahn ist 13°, die Länge des aufsteigenden Knotens 249°, die Länge des Periheliums 108°. Seine Umlaufszeit beträgt 6 Jahre und 270 Tage.

Tab. XIII. zeigt die auf die Ebene der Ekliptik projicirten Bahnen des Enke'schen und Biela'schen Kometen und ein Stück der Bahn des Halley'schen.

Außer diesen kennen wir jetzt noch zwei wiederkehrende Kometen, nämlich den Faye'schen, der eine Umlaufszeit von 7²/₅ Jahren hat, und den Kometen von De Vico, dessen Umlaufszeit 5¹/₂ Jahr beträgt.

Siebentes Capitel.

Die allgemeine Schwere.

---

81 **Mechanische Erklärung der Planetenbewegung durch Newton.** Nachdem Kepler die wahren Gesetze der Planetenbewegung aus den Beobachtungen abgeleitet hatte, war es die nächste Aufgabe der Astronomie, die mechanischen Ursachen derselben aufzusuchen, die Planetenbewegung auf mechanische Gesetze zurückzuführen. Es ist Newton's unsterbliches Verdienst, diese große Aufgabe gelöst zu haben.

Schon früher hatte es nicht an Versuchen gefehlt, die Kräfte auszumitteln, welche bei der Planetenbewegung thätig sind; man kam aber nicht zu einem Resultate, weil die Vorbedingungen fehlten, ohne welche ein solcher Schritt nicht gemacht werden konnte. Um eine mechanische Erklärung der Planetenbewegung geben zu können, mußte man nicht allein wissen, welches die wahren Gestalten der Planetenbahnen sind und mit welcher Geschwindigkeit sie durchlaufen werden, sondern es mußten die Grundgesetze der Mechanik selbst erst ermittelt sein. So lange man das Wesen und die Gesetze der krummlinigen Bewegung überhaupt nicht kannte, war auch eine mechanische Erklärung der Planetenbewegung nicht möglich.

Die Begründung der Mechanik ist mit der Entdeckung der wahren Gesetze der Planetenbewegung fast gleichzeitig. Es ist Galiläi, welcher die Gesetze des freien Falles, der Pendelbewegung, der Wurfbewegung erkannte, welcher das Gesetz der Trägheit begründete und dadurch gerade der Schöpfer der Mechanik wurde. Das Gesetz der Trägheit zeigt, wie ein Körper, welcher einmal in Bewegung ist, diese Bewegung unverändert beibehält, wenn nicht äußere Kräfte sie aufheben oder modificiren, wie jede krummlinige Bewegung aus der Combination der dem Körper bereits inwohnenden und durch das Beharrungsvermögen ihm verbleibenden Geschwindigkeit mit den Wirkungen irgend einer continuirlich wirkenden beschleunigenden Kraft ist.

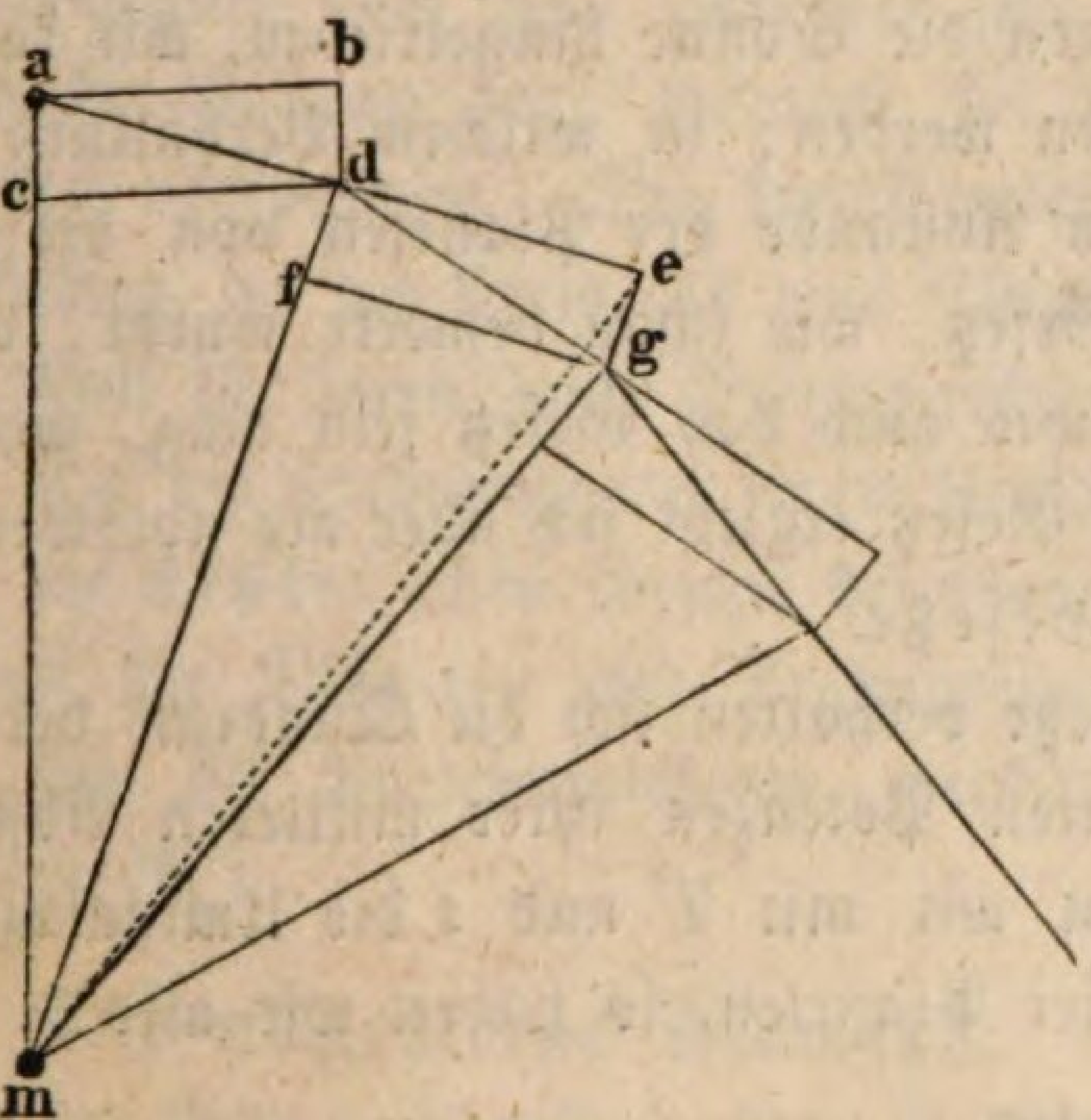
Kepler und Galiläi sind es also, welche den Grund zu dem wissenschaftlichen Gebäude legten, welches durch Newton's Entdeckung der allgemeinen Schwere vollendet wurde.

Wie durch die Combination irgend einer beschleunigenden Kraft mit der Geschwindigkeit, welche ein Körper bereits hat, überhaupt eine krummlinige Bewegung entsteht, wie der Körper beständig um einen festen Anziehungsmittelpunkt kreist, wenn die beschleunigende Kraft stets gegen diesen Anziehungsmittelpunkt hin gerichtet ist, wird hier als bekannt vorausgesetzt (Lehrbuch der Physik, 4. Aufl. 1. Bd. Seite 201). In den folgenden Paragraphen sollen nun die mechanischen Gesetze der Planetenbewegung überhaupt näher betrachtet, zunächst aber aus den Kepler'schen Gesetzen die Natur der beschleunigenden Kräfte abgeleitet werden, welche auf die Planeten wirken.

Die Planeten werden durch Centralkräfte angetrieben. Nach 82
dem zweiten Kepler'schen Gesetze sind die Flächenräume gleich, welche der die Sonne und den Planeten verbindende Leitstrahl in gleichen Zeiten zurücklegt. Aus diesem Gesetze folgt aber, daß die beschleunigende Kraft, welche auf die Planeten wirkt, stets gegen die Sonne hin gerichtet sei.

Wenn ein Körper in *a*, Fig. 133, mit einer solchen Geschwindigkeit ankommt, daß er in dem nächsten kleinen Zeittheilchen vermöge dieser Geschwindigkeit den Weg *ab* zurücklegen würde, so wird er, wenn eine gegen den Centralpunkt *m* gerichtete Kraft auf ihn einwirkt, welche ihn in demselben Zeittheilchen für sich allein von *a* nach *c* führen würde, in diesem Zeittheilchen in der That den Weg *ad* zurücklegen; der von dem fraglichen Körper nach *m* gezogene Leitstrahl hat also das Dreieck *amd* zurückgelegt.

Fig. 133.



Wenn nun auf den in *d* angekommenen Körper keine beschleunigende Kraft weiter einwirkte, so würde er im nächsten gleichgroßen Zeittheilchen den Weg *de* zurücklegen, und da $de = da$ sein würde, so ist auch das Dreieck *dem* gleich dem Dreieck *dam*. Sobald aber der in *d* angekommene Körper einer gegen *m* hin wirkenden Kraft ausgesetzt ist, welche ihn in der Zeiteinheit für sich allein von *d* nach *f* führen würde, so wird nun der Körper in diesem zweiten Zeittheilchen den Weg *dg* zurücklegen. Da nun aber *eg* parallel ist mit *dm*, so hat das Dreieck *dgm* gleiche Grundlinie *dm* und gleiche Höhe mit *dme*, es ist also:

$$\triangle\, dgm = \triangle\, dem,$$

und da das Dreieck *dem* gleich ist dem Dreieck *dam*, so haben wir auch:

$$\triangle\, dgm = \triangle\, dam.$$

In gleichen Zeittheilchen legt also der Leitstrahl gleiche Flächenräume zurück, sobald die beschleunigende Kraft nur stets gegen denselben Punkt hin gerichtet ist, nach welchem Gesetze im Uebrigen die beschleunigende Kraft mit der Entfernung von *m* sich ändern mag.

Die Eigenthümlichkeit, daß der Leitstrahl in gleichen Zeiten gleiche Flächenräume beschreibt, findet nur dann Statt, wenn der Mittelpunkt, von dem aus man die Leitstrahlen nach dem beweglichen Körper gezogen denkt, zugleich der Punkt ist, nach welchem die beschleunigende Kraft stets hinwirkt. Wirkte z. B. auf den in *d* angekommenen Körper nun eine beschleunigende Kraft, deren Richtung nicht in die Linie *d m* fällt, so würde der Körper am Ende des nächsten Zeittheilchens in irgend einem Punkte *h* ankommen, welcher nicht auf der mit *dm* parallelen Linie *e g*, sondern diesseits oder jenseits derselben liegt, das Dreieck *d m h* würde also größer oder kleiner sein als *d a m*.

Da nun in der That der von dem Planeten zur Sonne gezogene Leitstrahl in gleichen Zeiten gleiche Flächenräume beschreibt, so ist klar, daß die Sonne den Centralpunkt bildet, gegen welchen die auf die Planeten einwirkenden beschleunigenden Kräfte stets gerichtet sind.

83 **Abnahme der Centralkraft mit wachsender Entfernung von der Sonne.** Aus dem zweiten Kepler'schen Gesetze konnte man nur den Schluß ziehen, daß die Planeten stets gegen die Sonne hingetrieben, wir können also auch sagen, von der Sonne angezogen werden; in welchem Verhältniß aber diese anziehende Kraft der Sonne zu dem Abstande der Planeten von derselben stehe, das läßt das zweite Kepler'sche Gesetz, wie schon bemerkt wurde, völlig unentschieden; denn es findet Statt, welches auch das Gesetz sein mag, welchem dieses Verhältniß unterworfen ist. Dieses Gesetz ergiebt sich aber als nothwendige Folge aus dem dritten Kepler'schen Gesetze.

Nach dem dritten Kepler'schen Gesetze verhalten sich die Quadrate der Umlaufszeiten zweier Planeten wie die dritten Potenzen ihrer mittleren Abstände von der Sonne (Seite 129). Bezeichnen wir mit T und t die Umlaufszeiten, mit R und r die mittleren Abstände zweier Planeten, so haben wir also:

$$\frac{T^2}{t^2} = \frac{R^3}{r^3}.$$

Die Physik lehrt uns aber, daß, wenn ein Körper um einen Anziehungsmittelpunkt einen Kreis vom Halbmesser r während der Zeit t zurücklegt, alsdann die beschleunigende Kraft p, welche den Körper gegen den Mittelpunkt hintreibt, ist:

$$p = \frac{4\pi^2 r}{t^2}.$$

Für den Planeten, dessen Umlaufszeit T und dessen mittlerer Abstand von der Sonne R ist, haben wir demnach:

$$P = \frac{4\pi^2 R}{T^2},$$

folglich:

$$\frac{p}{P} = \frac{4\pi^2 r}{t^2} \cdot \frac{T^2}{4\pi^2 R} = \frac{r \cdot T^2}{R t^2}.$$

Nun aber ist $\frac{T^2}{t^2} = \frac{R^3}{r^3}$, folglich haben wir:

$$\frac{p}{P} = \frac{r}{R} \cdot \frac{R^3}{r^3} = \frac{R^2}{r^2},$$

das heißt mit Worten, die beschleunigenden Kräfte, welche die Planeten gegen die Sonne hintreiben, verhalten sich umgekehrt wie die Quadrate ihrer Entfernung von der Sonne, ein Gesetz, welches sich wohl a priori voraussehen ließ, da es für alle Wirkungen in die Ferne gilt, insofern wir sie von einem Punkte ausgehend betrachten können.

Wird einem Körper, welcher der Wirkung einer Kraft ausgesetzt ist, die ihn stets gegen einen und denselben Punkt hintreibt, und deren Stärke im umgekehrten Verhältniß des Quadrats der Entfernung vom Centralpunkte steht, auf irgend eine Weise eine seitliche Geschwindigkeit mitgetheilt, so muß er, wie sich mit Hülfe höherer Rechnung nachweisen läßt, eine Curve beschreiben, welche nothwendig ein Kegelschnitt ist, und zwar hängt es von dem Verhältniß zwischen der Centripetalkraft und Tangentialkraft ab, ob die durchlaufene Curve eine Ellipse, eine Parabel oder eine Hyperbel sein wird. Bei den Planeten kommen nur elliptische Bahnen vor, während bei Kometen möglicherweise auch parabolische Bahnen vorkommen. Die kreisförmige Bewegung ist nur ein specieller Fall der elliptischen, da der Kreis als eine Ellipse betrachtet werden kann, deren Excentricität Null ist, deren beide Brennpunkte also in einen zusammenfallen.

Da die Trabanten bei ihrem Umlauf um die entsprechenden Planeten gleichfalls die Kepler'schen Gesetze befolgen, so ist klar, daß die Anziehungskräfte, mit welchen die Planeten ihre Trabanten anziehen, demselben Gesetze unterworfen sind, wie die Anziehungskraft, welche zwischen der Sonne und den Planeten wirksam ist.

Die allgemeine Schwere. Ueber den Fall der Körper auf der Oberfläche der Erde nachdenkend, kam Newton auf die Idee, ob nicht vielleicht dieselbe Kraft, welche den Stein zur Erde herabfallen macht, also das, was wir die Schwere nennen, weit über die Gränzen der Atmosphäre hinaus, ja bis an den Mond reiche, daß nichts Anderes als die Schwere die Centralkraft sei, welche den Mond in seiner Bahn um die Erde erhält. 84

Diese Idee läßt sich leicht prüfen. Auf der Erdoberfläche ist die beschleunigende Kraft der Schwere (die Endgeschwindigkeit der ersten Fallsecunde) gleich 9,8088 Meter. Der Mond ist nun 60mal so weit von dem Centrum der Erde entfernt, als ein Punkt auf der Erdoberfläche; wenn also die Schwerkraft bis an den Mond reicht, so muß dort ihre beschleunigende Kraft 60^2, also 3600mal geringer sein als auf der Erdoberfläche, sie wäre also $\frac{9{,}8088}{3600} = 0{,}002724$ Meter.

Nun aber können wir die Größe der beschleunigenden Kraft, welche wirklich den Mond nach der Erde hintreibt, aus dem Halbmesser seiner Bahn und seiner Umlaufszeit berechnen. Wir haben:

$$p = \frac{4\pi^2 r}{t^2} = \frac{2\pi r \,.\, 2\pi}{t^2}.$$

Der Umfang der Erde ist 40 Millionen Meter, also ist der Umfang der Mondsbahn, d. h. der Werth von $2\pi r$, welcher in obige Gleichung zu setzen ist, gleich 40 . 60 oder 2400 Millionen Meilen. Diesen Weg legt der Mond in 27 Tagen 7 Stunden und 43 Minuten oder in 2360580 Secunden zurück; wir haben also:

$$p = \frac{2400000000 \,.\, 2 \,.\, 3{,}14}{2360580^2} = 0{,}002761 \text{ Meter.}$$

Wenn wir die kleine Differenz zwischen 0,002724 und 0,002761 vernachlässigen, welche übrigens nur daher rührt, daß wir für die Entfernung und die Umlaufszeit des Mondes statt der vollkommen genauen nur Näherungswerthe in Rechnnng gebracht haben, so sehen wir, daß sich derselbe Werth für die beschleunigende Kraft ergiebt, welche den Mond zur Erde treibt, mögen wir nun dieselbe aus den astronomischen Beobachtungen oder aus der Hypothese ableiten, daß die Schwerkraft auch noch auf den Mond wirke, daß sie aber im umgekehrten Verhältniß des Quadrats der Entfernung vom Mittelpunkte der Erde abnehme, und diese Uebereinstimmung ist eben ein Beweis für die Richtigkeit dieser Hypothese.

Newton hatte für den Erdhalbmesser, folglich auch für die Entfernung des Mondes (60 Erdhalbmesser), einen zu kleinen Werth in Rechnung gebracht und fand deshalb, von der Intensität der Schwerkraft auf der Erde ausgehend, die Intensität der Kraft, welche den Mond gegen die Erde treibt, größer, als die aus den astronomischen Beobachtungen abgeleitete. Der Unterschied war von der Art, daß, in umgekehrter Ordnung aus der Mondsbewegung auf den Fall auf der Erdoberfläche schließend, der Fallraum der ersten Secunde nur 13 Fuß hätte betragen müssen, während er in der That 15 Fuß ist.

Diese Differenz war so groß, daß Newton selbst seine Theorie ganz aufgab, d. h. er gab die Idee auf, daß die Centripetalkraft, welche bei der Mondsbewegung thätig ist, mit der Schwere identisch sei.

Zwölf Jahre lang hatte er diesen Gegenstand vollständig liegen gelassen, als er im Juni des Jahres 1682 die Kunde von einer neuen in Frankreich durch Picard ausgeführten Gradmessung erhielt, nach welcher der Durchmesser der Erde größer, und zwar um $^1/_7$ größer war, als man nach früheren, weniger genauen Messungen angenommen hatte. Alsbald nahm er seine alten Rechnungen wieder vor und hatte nun die Freude, seine schon aufgegebene Theorie aufs Vollständigste bestätigt zu sehen.

Die Sonne zieht die Planeten, die Planeten aber ziehen ihre Satelliten an, und die Kraft, welche die Monde gegen ihre Planeten hintreibt, ist identisch mit der Schwerkraft, welche alle Körper niederzieht, die sich auf der Oberfläche

der Planeten befinden. Das Gesetz dieser Anziehung, welches unser ganzes Planetensystem beherrscht, läßt sich in folgender Weise aussprechen:

Je zwei materielle Moleküle ziehen sich mit einer Kraft an, welche ihren Massen direct und dem Quadrat ihrer Entfernungen umgekehrt proportional ist.

Bezeichnet man mit m und m' die Massen der beiden Moleküle, mit r ihre Entfernung, so ist also ihre gegenseitige Anziehung gleich:

$$f \frac{m \cdot m'}{r^2},$$

wo f ein constanter Factor ist.

Das Gewicht eines Körpers auf der Oberfläche eines Planeten ist die Resultirende aller Anziehungen, welche alle Moleküle, aus denen der Planet zusammengesetzt ist, auf den fraglichen Körper ausüben. Diese Resultirende ist stets gegen den Mittelpunkt des Planeten hin gerichtet, insofern man ihn als vollkommen kugelförmig betrachtet und also von seiner Abplattung abstrahirt. Für diesen Fall wirkt auch die Gesammtanziehung eines Planeten in die Ferne sowohl wie auf einen Körper, welcher sich auf seiner Oberfläche befindet, gerade so, als ob die ganze Masse des Planeten sich in seinem Mittelpunkte befände. Bezeichnen wir also mit m die Masse, mit ϱ den Halbmesser eines Planeten, so ist die Kraft, mit welcher die Einheit der Masse auf der Oberfläche des Planeten gegen den Mittelpunkt hingezogen wird:

$$P = f \frac{m}{\varrho^2} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 1)$$

Die Geschwindigkeit, also auch die Beschleunigung, mit welcher ein Körper auf der Planetenoberfläche fällt, ist von seiner Masse unabhängig, sie ist gleich der Geschwindigkeit und der Beschleunigung, mit welcher die Masseneinheit fällt, sie ist also:

$$g = h \frac{m}{\varrho^2} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 2)$$

wo h einen constanten Factor bezeichnet, dessen nähere Bestimmung für uns jetzt kein Interesse hat.

Betrachtet man die Bewegung eines Planeten, so ist streng genommen der Mittelpunkt der Sonne kein fester Punkt, sondern der Planet sowohl als auch die Sonne selbst beschreiben eine Ellipse um den gemeinschaftlichen Schwerpunkt, welcher aber stets dem Mittelpunkte der Sonne sehr nahe liegt, weil die Masse der Planeten nur ein höchst unbedeutender Bruchtheil der Sonnenmasse ist; bezieht man aber die Bewegung des Planeten auf den Mittelpunkt der Sonne, indem man denselben als fest betrachtet, so ist seine Bahn gleichfalls eine elliptische.

Es sei M die Masse der Sonne, m die Masse eines Planeten und R der Abstand beider von einander, so ist die beschleunigende Kraft, welche den Planeten gegen den gemeinschaftlichen Schwerpunkt treibt:

$$G = h \frac{M}{R^2} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 3)$$

während die Sonne gegen denselben Schwerpunkt mit einer Beschleunigung:

$$\Gamma = h \frac{m}{R^2}$$

hingetrieben wird. Letztere Größe kann man aber als verschwindend klein gegen die erstere betrachten, so daß also G das Maß der Beschleunigung ist, mit welchem der Planet um die Sonne gravitirt. Ebenso ist:

$$G' = h \frac{m}{r^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 4)$$

der Werth der Beschleunigung, mittelst deren ein Satellit um seinen Planeten kreist, wenn r die Entfernung beider bezeichnet und die Masse des Trabanten im Vergleich zur Masse m des Planeten als verschwindend klein betrachtet werden kann.

85 **Masse der Sonne und der Planeten.** Die Formeln, welche wir im vorigen Paragraphen kennen lernten, geben uns ein Mittel an die Hand, die Masse der Planeten, welche Satelliten haben, mit der Masse der Sonne zu vergleichen.

Für die beschleunigende Kraft, unter deren Einfluß ein Planet um die Sonne kreist, haben wir auch den Werth:

$$G = \frac{4 \pi R}{T^2},$$

wenn R, wie oben, der Halbmesser der Planetenbahn und T seine Umlaufszeit ist.

Wenn wir diesen Werth von G dem Werthe bei 3) gleichsetzen, so kommt:

$$\frac{4 \pi R}{T^2} = h \frac{M}{R^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 5)$$

In gleicher Weise erhalten wir zwei Ausdrücke für die beschleunigende Kraft, unter deren Einfluß der Satellit um seinen Planeten kreist, und wenn wir beide gleich setzen:

$$\frac{4 \pi r}{t^2} = h \frac{m}{r^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 6)$$

wenn t die Umlaufszeit des Trabanten und r seine Entfernung vom Planeten bezeichnet.

Dividirt man die Gleichung 5) durch Gleichung 6), so kommt:

$$\frac{R t^2}{r T^2} = \frac{M}{m} \cdot \frac{r^2}{R^2}$$

und endlich:

$$\frac{M}{m} = \frac{R^3 t^2}{r^3 T^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 7)$$

Nehmen wir die Entfernung des Mondes von der Erde zur Längeneinheit, so ist $r = 1$ und $R = 400$.

Die Umlaufszeit des Mondes um die Erde beträgt 39343, die der Erde

um die Sonne beträgt 525950 Minuten. Setzen wir nun in Gleichung 7) $t = 39343$ und $T = 525950$ und außerdem für R und r die obigen Zahlenwerthe, so kommt:

$$\frac{M}{m} = 358120,$$

d. h. die Masse der Sonne ist 358120mal so groß als die Masse der Erde. Dieser Zahlenwerth ist jedoch nur eine erste Annäherung an das wahre Verhältniß. Wenn man für Umlaufszeiten und Entfernungen die ganz genauen Werthe setzt und die Masse der Erde nicht gegen die der Sonne, die Masse des Mondes nicht gegen die der Erde vernachlässigt, wie es bei obiger Berechnung geschehen ist, so ergiebt sich für die Masse der Sonne:

$$M = 355000,$$

wenn man die Masse der Erde als Einheit nimmt.

Die Umlaufszeit t' des äußersten Jupiterstrabanten ist 24032 Minuten, seine Entfernung vom Mittelpunkte des Jupiter ist 27 Jupitershalbmesser oder, in Mondabständen ausgedrückt, $r' = 5{,}2$. Bezeichnen wir also mit m' die Masse des Jupiter, so haben wir:

$$\frac{m'}{m} = \frac{r'^3 t^2}{r^3 t'^2},$$

und wenn wir für r, r', t und t' ihre Zahlenwerthe setzen:

$$\frac{m'}{m} = 376.$$

Auch dieser Werth ist nur eine erste Annäherung, der genaue Werth der Jupitersmasse ist 340, wenn man die Masse der Erde zur Einheit nimmt.

Nach derselben Methode findet man, daß die Masse des Saturn 102mal, die des Uranus 14,5mal so groß ist als die Masse der Erde.

Es ist bereits oben der wahre Durchmesser der Sonne und der Planeten angegeben worden, und daraus läßt sich dann leicht ihr Volumen berechnen. Setzt man das Volumen der Erde gleich 1, so ergiebt sich das Volumen der Sonne, des Jupiter, des Saturn und des Uranus, wie es die zweite Columne der folgenden Tabelle angiebt.

	Volumen.	Masse.	Dichtigkeit.
Erde	1	1	1
Sonne	1409725	355500	0,252
Jupiter	1491	340	0,227
Saturn	772	102	0,131
Uranus	86,5	14,5	0,167

Die dritte Columne dieser Tabelle enthält die eben besprochenen Werthe für die Massen der genannten Himmelskörper. Man sieht nun sogleich, daß die Massen dem körperlichen Inhalte keineswegs proportional bleiben; während z. B. der cubische Inhalt des Jupiter 1491mal größer ist als der der Erde, so ist die Masse des Jupiter doch nur 340mal so groß als die Masse der Erde, es ist also klar, daß Jupiter weniger dicht sein muß als die Erde.

Dividirt man die Zahlen der dritten Columne durch die entsprechenden Zahlen der zweiten, so findet man die Werthe der Dichtigkeit, wie sie in der letzten Vertikalreihe aufgeführt sind. Die Sonne ist also nahezu 4mal weniger dicht als die Erdmasse; der Jupiter ist nicht ganz so dicht wie die Sonne, noch weit weniger dicht aber sind Saturn und Uranus.

86 **Dichtigkeit der Erde.** Wir haben eben die Dichtigkeit der Sonne und mehrerer Planeten nur mit der mittleren Dichtigkeit der Erde verglichen, wir wollen nun sehen, auf welche Weise man die Masse und die Dichtigkeit der Erdkugel selbst bestimmen kann.

Ein Bleiloth, welches in einer vollkommen ebenen Gegend im Freien aufgehängt wird, ist stets gegen den Mittelpunkt der Erde gerichtet; wenn sich aber auf einer Seite des Bleilothes eine bedeutende, über die Ebene hervorragende Masse, etwa ein Gebirgszug, befindet, so wird diese gleichfalls anziehend auf die Kugel des Lothes wirken und eine Ablenkung desselben aus der Verticalen veranlassen.

In gleicher Weise wird auch die Nähe von Gebirgen eine Abweichung der freien Oberfläche der Gewässer von der wahren Horizontalen bewirken, da ja dieselbe stets rechtwinklig auf der Richtung des Bleilothes steht.

Bouguer war der Erste, welcher die Idee hatte, in der Anziehung der Gebirge einen Beweis für die allgemeine Anziehung der Materie zu suchen. Er stellte seine Versuche an den Abhängen des Chimborasso an und fand eine Ablenkung des Bleilothes von 7″ bis 8″. Daß bei der bedeutenden Ausdehnung des Gebirges keine größere Ablenkung gefunden wurde, rührt wahrscheinlich daher, daß sich große Höhlungen im Inneren jener vulcanischen Berge befinden.

Sehen wir nun zunächst, wie man im Stande ist, eine Ablenkung des Bleilothes von der Verticalen (d. h. von der nach dem Mittelpunkte der Erde gerichteten Geraden) nachzuweisen.

An unseren astronomischen Höhenkreisen bestimmen wir die Richtung der Horizontalen mit Hülfe der Wasserwage, folglich fällt die Richtung des Zeniths, wie sie uns der Höhenkreis angiebt, zusammen mit der Richtung des Bleilothes. Die durch den Höhenkreis gemessene Zenithdistanz eines Gestirnes ist der Winkel, welchen die nach dem Sterne gerichtete Visirlinie mit der Richtung des Bleilothes macht.

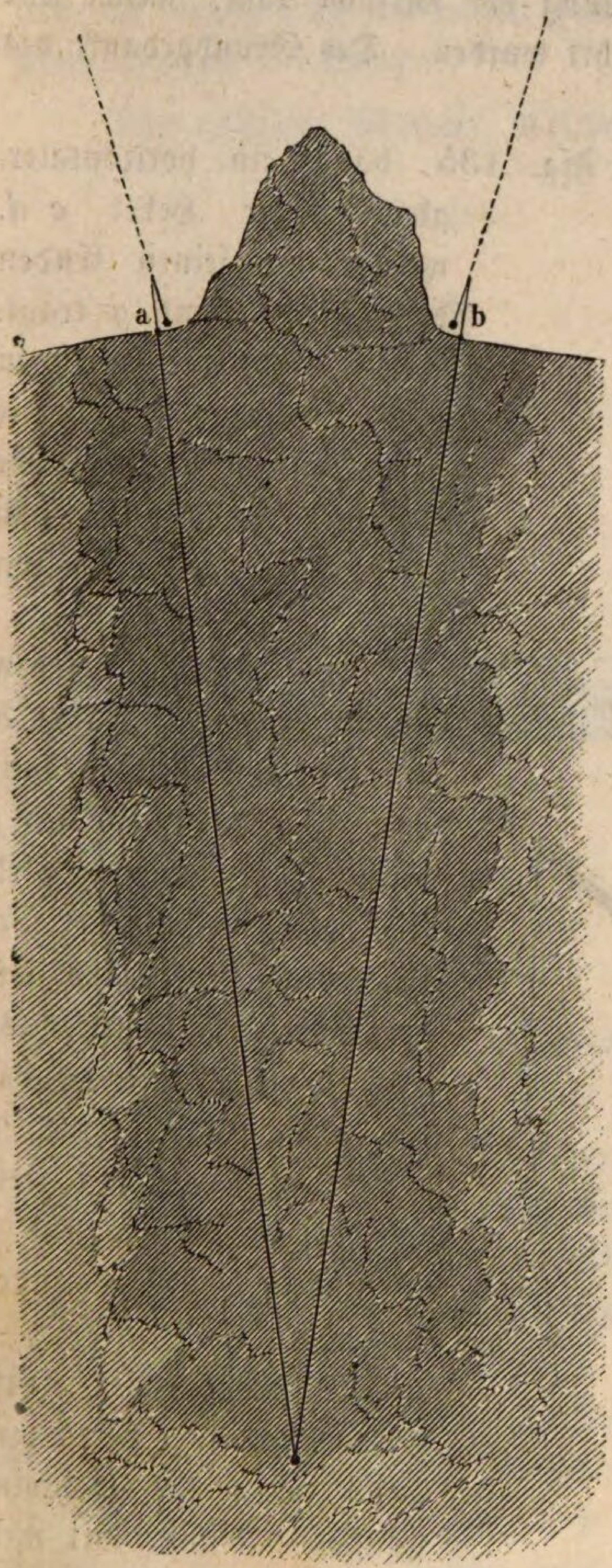
Wenn man nun an zwei Orten a und b, welche auf demselben Erdmeridian liegen, die Zenithdistanz eines und desselben Fixsternes zur Culminationszeit bestimmt, so ist der Unterschied der beiden Zenithdistanzen der Winkel, wel-

chen die Richtung des Bleilothes in *a* mit der Richtung des Bleilothes in *b* macht.

So fanden Maskelyne und Hutton im Jahre 1772, daß die Bleilothe zweier Orte *a* und *b* desselben Meridians, von denen die eine auf dem nördlichen, die andere am südlichen Abhange des Berges Schehallien lag, einen Winkel von 53 Bogensecunden mit einander machten.

Durch geodätische Messungen wurde aber ferner ermittelt, daß *a* 3900 Fuß nördlich von *b* lag. Da für Schottland die Länge eines Breitengrades ungefähr 342500 Fuß beträgt, so entspricht jene Länge von 3900 Fuß einem Bogen von 41″, d. h. aus der geodätischen Messung folgt, daß *a* um 41″ nördlich von *b* liegt, oder mit anderen Worten, daß die Verticale von *a* mit der Verticalen von *b* einen Winkel von 41 Secunden macht.

Fig. 134.



Der Winkel, welche die Bleilothe von *a* und *b* mit einander machen, ist also um 12″ größer als der Winkel der Verticalen beider Orte; die Bleilothe von *a* und *b* sind also nicht gegen den Mittelpunkt der Erde gerichtet, sie sind durch den Einfluß des Berges von der Verticalen abgelenkt, und zwar beträgt die Summe der Ablenkungen der Bleilothe in *a* und *b* 12″.

Durch eine genaue Vermessung des Berges wurde nun das Volumen des Gebirges bestimmt, woraus sich dann auch die Masse desselben mit annähernder Genauigkeit berechnen ließ, da ja das specifische Gewicht des Gesteins bekannt ist, aus welchem es besteht.

Aus der Ablenkung des Bleilothes ergiebt sich aber ferner, in welchem Verhältniß die anziehende Kraft des Berges zur Gesammtanziehung der Erde steht, und da die Masse des Berges bekannt ist, so läßt sich daraus auch auf die Masse und die mittlere Dichtigkeit der ganzen Erdkugel schließen.

Maskelyne ermittelte auf diesem Wege, daß die mittlere Dichtigkeit der Erde 4,71 sei, ein Resultat, welches der Wahrheit schon sehr nahe kam.

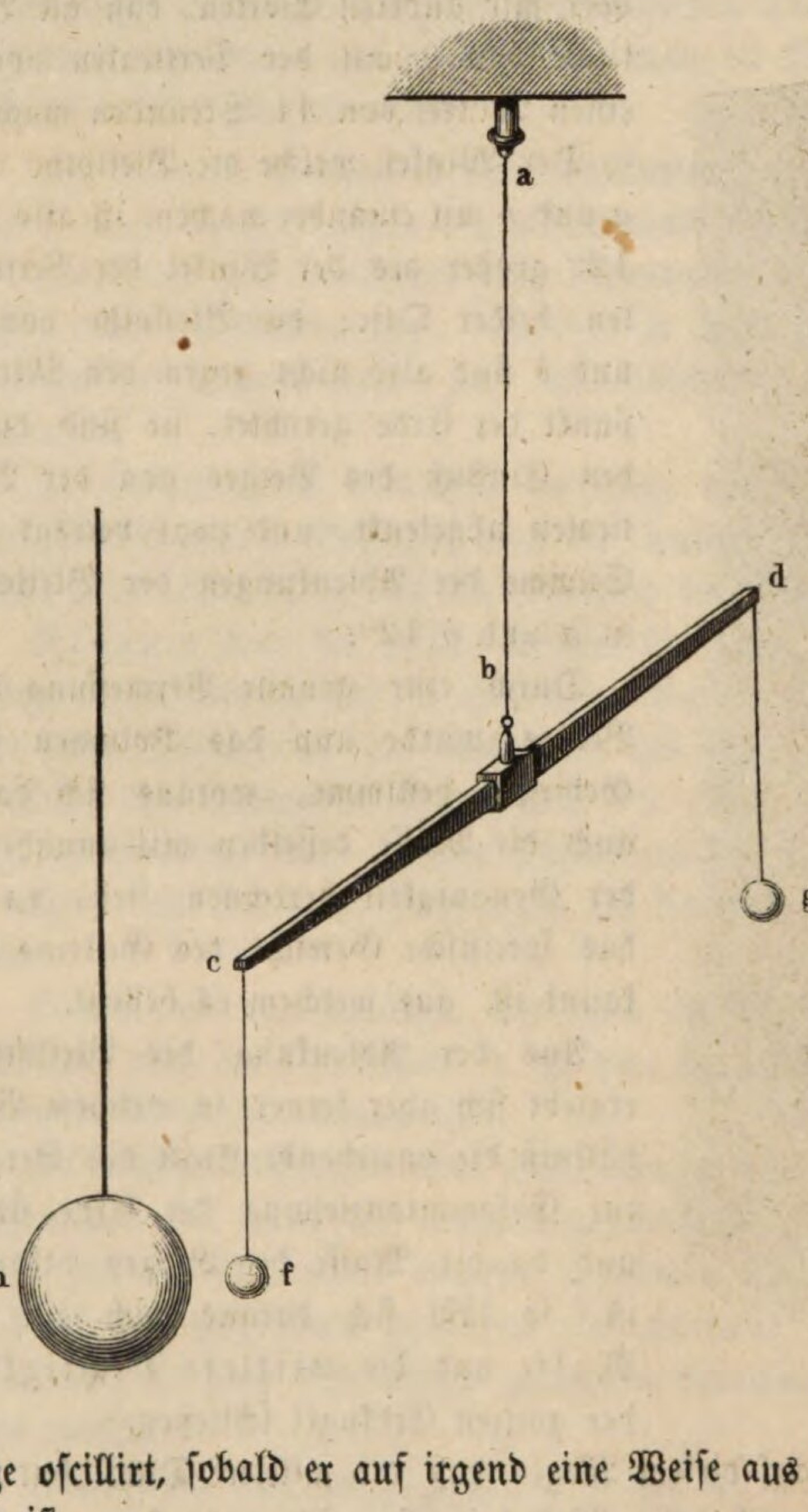
Wir begnügen uns hier, die Methode nur anzudeuten, welche Maskelyne

anwandte, um die Masse und die mittlere Dichtigkeit der Erde zu bestimmen, und zwar um so mehr, da die Berechnung auf diesem Wege eine ziemlich schwierige ist, ohne deshalb so genaue Resultate liefern zu können, wie die Methode, welche im nächsten Paragraphen besprochen werden soll.

87 **Anwendung der Drehwage zur Bestimmung der mittleren Dichtigkeit der Erde.** Ein englischer Physiker, Michell, construirte eine Drehwage, mit deren Hülfe er die mittlere Dichtigkeit der Erde zu bestimmen gedachte; er starb aber, ehe er zur Anstellung der Versuche kam, welche erst nach seinem Tode von Cavendish ausgeführt wurden. Der Grundgedanke des Apparates ist folgender:

An einem dünnen Metalldraht *a b*, Fig. 135, hängt ein horizontaler, gleicharmiger Hebel *c d*, welcher an seinen Enden die Kugeln *f* und *g* trägt. Dem Einfluß aller störenden Kräfte entzogen, wird die ganze Vorrichtung eine solche Stellung annehmen, daß der Draht *a b* ohne Torsion ist.

Fig. 135.



Bringt man nun neben der Kugel *f* eine Kugel *h* von bedeutender Masse an, so wird *h* anziehend auf *f* wirken, und dadurch wird der horizontale Hebel *cd* um einen Winkel aus seiner früheren Gleichgewichtslage heraus gedreht, welcher der anziehenden Kraft *k* proportional ist, mit welcher die Kugeln *h* und *f* gegenseitig auf einander wirken.

Die Größe dieser Kraft *k* läßt sich aber berechnen, wenn man die Schwingungszeit kennt, mit welcher der horizontale Hebel *cd* um seine Gleichgewichtslage oscillirt, sobald er auf irgend eine Weise aus derselben herausgebracht worden ist.

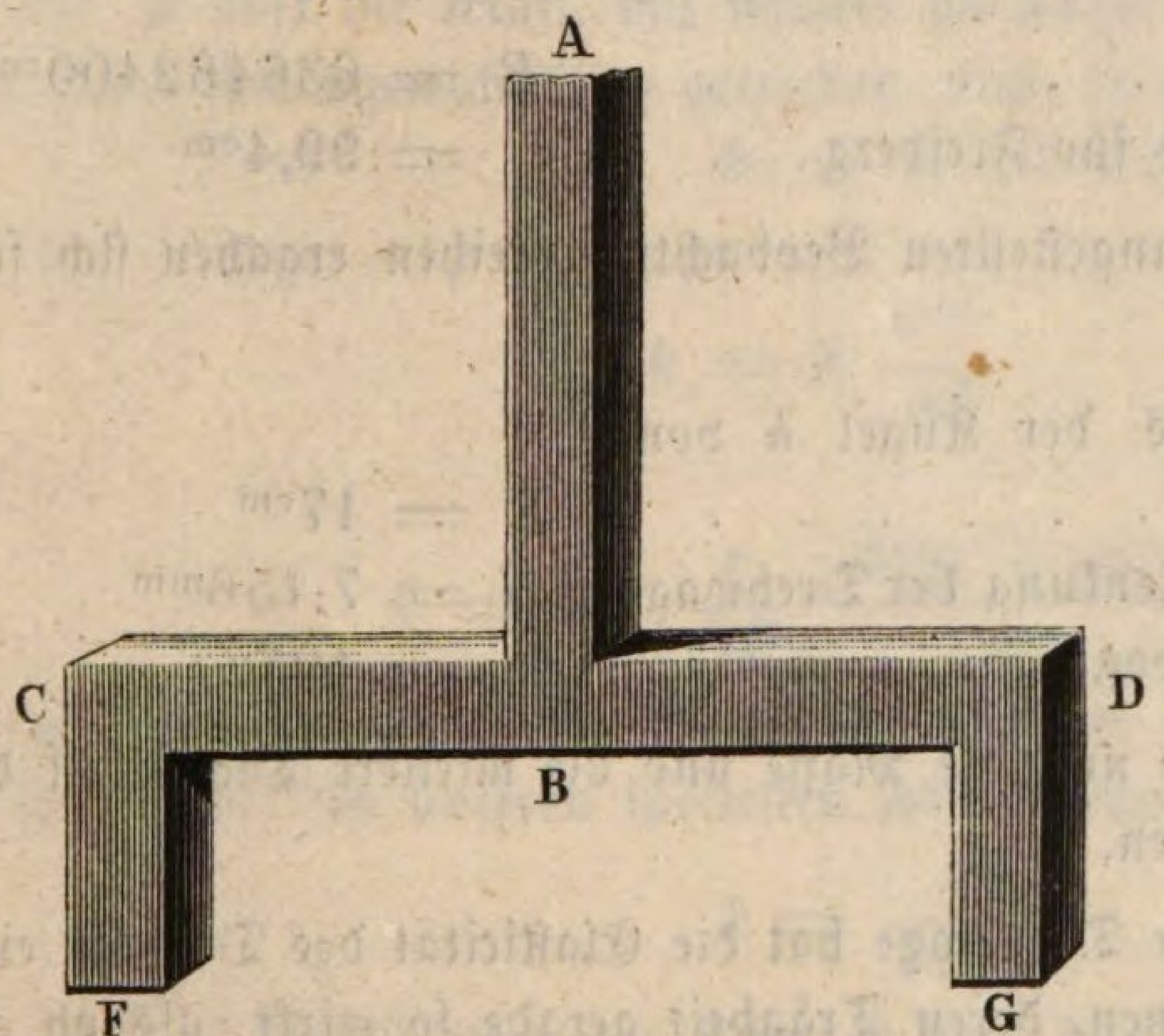
Aus dem Verhältniß der Kraft *k* zu dem Gewichte *m* der Kugel *f* (der Kraft,

mit welcher die ganze Erdkugel die Kugel f anzieht) ergiebt sich dann das Verhältniß zwischen der leicht zu ermittelnden Masse M der Kugel h und der Masse Q der Erdkugel.

Es kommt also vor allen Dingen darauf an, die Ablenkung des horizontalen Hebels durch die Einwirkung der Kugel h, sowie die Schwingungszeit des horizontalen Pendels cd mit möglichster Genauigkeit zu ermitteln; jeder Luftzug wirkt aber störend sowohl auf die Ablenkung als auf die Schwingungszeit, und deshalb muß die ganze Vorrichtung in ein möglichst enges Gehäuse eingeschlossen und an einem Orte aufgestellt sein, an welchem möglichst wenig Temperaturschwankungen stattfinden

Das hölzerne Gehäuse, welches die Drehwage einschließt, hat ungefähr die Gestalt von Fig. 136. In AB befindet sich der Aufhängedraht, CD, schließt den horizontalen Hebel ein und in den verticalen Armen CF und DG befinden sich die Kugeln f und g mit ihren Aufhängedrähten. Das Ganze ist nur so weit, daß dem Hebel cd der nöthige Spielraum für die kleine, durch h hervorgebrachte Ablenkung und die kleinen Schwingungen bleibt.

Fig. 136.



An einigen Stellen ist die Wand des Gehäuses durchbrochen, die Oeffnungen aber sind dann wieder durch Platten von Spiegelglas geschlossen, durch welche hindurch man den Hebel und seine Oscillationen beobachten kann.

Cavendish wandte außer der ablenkenden Masse h noch eine zweite, neben der Kugel g hängende an, welche die Wirkung der ersteren unterstützt; aus seinen, nach der eben angedeuteten Methode angestellten Versuchen ergab sich für die mittlere Dichtigkeit der Erde der Werth 5,48 oder nach Hutton's Revision der Rechnungen 5,32.

Im Jahre 1837 stellte F. Reich neue Versuche über die mittlere Dichtigkeit der Erde mittelst der Drehwage an. Eine wesentliche Verbesserung des Apparates erzielte er dadurch, daß er ihn mit einer Poggendorff'schen Spiegelvorrichtung versah, welche auch Gauß mit so großem Vortheil bei seinem Magnetometer angewandt hatte. Der Spiegel war am unteren Ende des Aufhängedrahtes bei b angebracht. Die ganze Drehwage war an der Decke eines Kellers aufgehängt und die Scala durch eine Lampe mittelst eines Hohlspiegels erleuchtet.

Die Größen, deren Kenntniß zur Berechnung der Masse und Dichtigkeit der Erde nothwendig sind, waren beim Reich'schen Apparat:

Abstand des Aufhängepunktes der Kugeln f und g von der Mitte des Hebels . . . . $r = 100{,}1^{cm}$
Jede der Kugeln f und g wog . . . . $m = 484{,}2^{gr}$
Das auf den Aufhängepunkt der Kugel reducirte Gewicht des halben Hebels sammt dem Gewichte der Aufhängevorrichtung . . . . $m' = 34{,}7^{gr}$
Abstand der Scala vom Spiegel . . . . $\mu = 4523^{mm}$
Gewicht der ablenkenden Kugel h . . . . $M = 45006^{gr}$

Diese Kugel h war aus Blei verfertigt, während die Kugeln f und g aus einer Composition von Blei und Wismuth bestanden.

Ferner ist:

Der Halbmesser der Erde . . . . $R = 636462400^{cm}$
Die Länge des Secundenpendels für Freiberg. . . $l = 99{,}4^{cm}$

Bei einer der von Reich angestellten Beobachtungsreihen ergaben sich folgende Resultate:

Der Abstand des Mittelpunktes der Kugel h vom Mittelpunkt der Kugel f war . . . . $E = 17^{cm}$
Die auf der Scala abgelesene Ablenkung der Drehwage $B = 7{,}156^{mm}$
Die Schwingungszeit der Drehwage . . . . . . $t = 405''$

Aus diesen Daten läßt sich nun die Masse und die mittlere Dichtigkeit der Erde in folgender Weise berechnen.

Bei den Schwingungen der Drehwage hat die Elasticität des Drahtes eine träge Masse in Bewegung zu setzen, deren Trägheit gerade so wirkt, als ob am Ende des Hebels eine Masse $2\,(m + m')$, in unserem Falle also eine Masse von 1038 Gramm angehängt wäre.

Nun aber wirkt die ablenkende Kraft der Kugel h nur auf die kleine Kugel f. Hätte die Elasticität des Aufhängedrahtes nur diese eine Kugel f in Bewegung zu setzen gehabt, deren Gewicht $m = 484{,}2$ Gramm beträgt, so würden die Schwingungen schneller gewesen sein, und zwar würde die Schwingungszeit im Verhältniß von $\sqrt{2\,(m + m')}$ zu $\sqrt{m}$ abgenommen haben, kurz die Schwingungszeit t' würde sein:

$$t' = t\,\frac{\sqrt{m}}{\sqrt{2\,(m + m')}} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \qquad 1)$$

in unserem Falle also:

$$t' = 405\,\sqrt{\frac{484}{1038}} = 276{,}55''.$$

Dies ist also die Schwingungszeit eines einfachen, 100,1 Centimeter langen Pendels, welches unter dem Einfluß der Elasticität des Aufhängedrahtes schwingt.

Für ein einfaches Pendel von gleicher Länge, welches unter dem Einfluß der Schwere schwingt, würde die Schwingungszeit gewesen sein:

$$t'' = \frac{\sqrt{r}}{\sqrt{l}} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 2)$$

in unserem speciellen Falle:

$$t'' = \frac{\sqrt{100{,}1}}{\sqrt{99{,}4}} = 1{,}0035 \text{ Secunden.}$$

Für zwei gleichlange einfache Pendel verhalten sich aber bei gleichem Ausschlagswinkel die beschleunigenden Kräfte, welche die Kugel in die Gleichgewichtslage zurücktreiben, umgekehrt wie die Quadrate der Schwingungszeiten. Bezeichnen wir die beschleunigende Kraft, mit welcher die Elasticität des Aufhängedrahtes die Drehwage in ihre Gleichgewichtslage zurückzuführen strebt, mit k, mit K aber die Kraft, mit welcher die Kugel eines gewöhnlichen Pendels gegen seine Gleichgewichtslage getrieben wird, so haben wir:

$$k : K = t''^2 : t'^2,$$

also:

$$k = K \frac{t''^2}{t'^2}$$

oder:

$$k = K \cdot \frac{r}{l . t^2} \cdot \frac{2(m + m')}{m} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 3)$$

wenn man für t' und für t'' ihre Werthe bei 1) und 2) setzt. Setzt man für t' und t'' die für unseren speciellen Fall berechneten Zahlenwerthe, so kommt:

$$k = \frac{K}{75945}.$$

Durch den Einfluß der Kugel h wird die Drehwage um B Theilstriche der Scala abgelenkt, wenn wir also mit x den Ablenkungswinkel bezeichnen, so ist:

$$sin.\, x = \frac{B}{2\,\mu}.$$

Wenn ein gewöhnliches einfaches Pendel um den Winkel x aus seiner Gleichgewichtslage entfernt wird, so ist die Kraft K, welche die Kugel nach ihrer Gleichgewichtslage zurücktreibt, gleich $m \,.\, sin.x$, wenn m das Gewicht der Kugel ist: setzen wir für $sin.x$ den eben gefundenen Werth, so haben wir:

$$K = \frac{m \,.\, B}{2\,\mu} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 4)$$

also in unserem speciellen Fall, wenn für m, B und μ die oben angegebenen Zahlenwerthe gesetzt werden:

$$K = 0{,}3832 \text{ Gramm.}$$

Demnach ist auch

$$k = \frac{B \,.\, r \,.\, (m + m')}{\mu \,.\, l \,.\, t^2} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 5)$$

oder für unserem speciellen Fall ergiebt sich für k der Zahlenwerth:

$$k = 0{,}0000050467 \text{ Gramm.}$$

Dies ist also die Kraft, mit welcher die Kugel f durch die Kugel h auf die Seite gezogen wird, während die Kraft, mit welcher die Kugel f durch die gesammte Erde angezogen wird, gleich m ist. Denken wir uns nun die Masse M der Kugel h, sowie die Masse Q der ganzen Erde in den entsprechenden Mittelpunkten vereinigt, so haben wir zur Berechnung der Masse Q die Gleichung:

$$m : k = \frac{Q}{R^2} : \frac{M}{E^2}$$

und daraus:

$$Q = \frac{m \,.\, M \,.\, R^2}{E^2 \, k} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 6)$$

oder wenn man für k seinen oben bei 5) angegebenen Werth setzt:

$$Q = \frac{m \,.\, M \,.\, R^2 \, \mu \, l \, t^2}{E^2 \,.\, B \,.\, r\,(m + m')}$$

Setzen wir aber in Gleichung 6) für k, m, M, R und E die früher angegebenen Zahlenwerthe, so finden wir für die Masse der Erde den Werth:

$$Q = 5\,914\,500\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000 \text{ Gramm}$$

oder:

118000 Trillion Centner.

Die mittlere Dichtigkeit der Erde findet man, wenn man die Masse Q durch das Volum der Erde, also durch $^4/_3 \pi R^3$ dividirt; man findet alsdann:

$$D = \frac{3\,Q}{4\,\pi R^3} = \frac{3\,M.\mu l}{4\,\pi R.r} \cdot \frac{m}{m + m'} \cdot \frac{t^2}{E^2 B} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 7)$$

und wenn man für die Buchstaben ihre Zahlenwerthe substituirt:

$$D = 5{,}476.$$

Aus einer großen Reihe von Versuchen, welche Reich im Jahre 1837 anstellte, fand er als Mittel, mit Berücksichtigung aller nothwendigen Correctionen den Werth:

$$D = 5{,}44.$$

(F. Reich, Versuche über die mittlere Dichtigkeit der Erde mittelst der Drehwage. Freiberg 1838.)

Im Jahre 1843 publicirte Baily in London die Resultate einer großen Reihe von Versuchen, welche er im Auftrage der Royal Astronomical Society nach der Methode von Cavendish angestellt hatte.

Er fand die mittlere Dichtigkeit der Erde:

$$D = 5{,}66.$$

Nach dem Bekanntwerden dieses Resultates wiederholte auch Reich seine Versuche, nachdem er einige Verbesserungen in seinem Apparate angebracht hatte, und fand:

$$D = 5{,}58.$$

(Abhandlungen der mathematisch-physikalischen Classe der königl. sächs. Gesellschaft der Wissenschaften. Erster Band. 1852. S. 385.)

88 Dichtigkeit der Weltkörper verglichen mit der des Wassers.

Nehmen wir aus den im vorigen Paragraphen besprochenen Resultaten das

Mittel, so ergiebt sich, daß die mittlere Dichtigkeit der Erde 5,5mal so groß ist als die des Wassers.

Da nun das specifische Gewicht der Felsmassen, welche die feste Erdrinde bilden, kaum halb so groß ist, so müssen wir schließen, daß das Innere der Erde aus Körpern von größerem specifischen Gewichte bestehe, daß die Erde einen metallischen Kern habe.

Verglichen mit Wasser, ist die Dichtigkeit

der Sonne 1,38
des Jupiter 1,25
des Saturn 0,72
des Uranus 0,92

Die mittlere Dichtigkeit der Sonne ist also ungefähr die des Buxbaumes, die mittlere Dichtigkeit des Jupiter ist der des Ebenholzes gleich, während Saturn und Uranus in ihrer Dichtigkeit dem Nußbaume und Ahornholz nahe stehen.

Der Vollständigkeit wegen folgt hier noch, die Erde zur Einheit genommen, die Masse und Dichtigkeit der drei übrigen Hauptplaneten, welche keine Trabanten haben, deren Masse also auf anderem Wege bestimmt werden muß, als der ist, den wir in §. 85 kennen lernten.

	Volumen.	Masse.	Dichtigkeit.
Mercur . . .	0,059	0,073	1,225
Venus . . .	0,996	0,885	0,908
Mars	0,136	0,132	0,972

Setzen wir die Dichtigkeit des Wassers gleich 1, so ist die Dichtigkeit

des Mercur 6,7
der Venus 5,0
des Mars 5,3

Unter allen Planeten ist also Mercur der dichteste, nach ihm die Erde. Mars und Venus stehen der Erde in Beziehung auf mittlere Dichtigkeit sehr nahe.

Größe der Schwerkraft auf der Oberfläche der Sonne und der Planeten. 89 Nach §. 84 ist $P = f\frac{m}{\varrho^2}$ das Maß für die Schwerkraft auf der Oberfläche eines Weltkörpers, wenn ϱ den Halbmesser und m die Masse desselben bezeichnen.

Setzen wir die Schwerkraft auf der Oberfläche der Erde gleich 1; nehmen wir ferner die Masse der Erde zur Masseneinheit, den Radius derselben zur Längeneinheit, so wird auch $f = 1$, und wir haben alsdann für die Schwerkraft auf der Oberfläche irgend eines anderen Weltkörpers

$$P = \frac{m}{\varrho^2},$$

wenn m und ϱ in den eben bezeichneten Einheiten ausgedrückt werden. So ist der Radius des Jupiter 11,5mal so groß als der Erdhalbmesser, und die Masse des Jupiter ist 340mal so groß als die Masse der Erde; folglich ist für Jupiter

$$P = \frac{340}{11{,}5^2} = 2{,}57.$$

Auf diese Weise ergeben sich für die Sonne, den Mond und die Planeten folgende Werthe für die Schwerkraft auf ihrer Oberfläche:

Namen der Himmelskörper.	Schwere auf der Oberfläche.	Fallraum der ersten Secunde.
Sonne	28,30	424,5 Fuß
Mercur	1,15	17,2 »
Venus	0,91	13,6 »
Erde	1,00	15,0 »
Mars	0,50	7,5 »
Jupiter	2,57	38,5 »
Saturn	1,09	16,3 »
Uranus	1,05	15,7 »
Mond	0,16	2,4 »

Die Masse eines Centners, auf die Oberfläche der Sonne gebracht, wird also dort auf ihre Unterlage einen Druck ausüben, welcher gleich ist dem Druck von 28,3 Centnern auf der Erdoberfläche, während dagegen auf dem Monde die gleichen Massen nahezu 5mal weniger stark auf ihre Unterlage drücken als auf der Erde. Es würde ungefähr gleiche Anstrengung erfordern, um auf der Erde die Masse von 50 Pfunden, auf der Sonne die Masse von 2 Pfunden oder auf dem Monde die Masse von 250 Pfunden zu tragen.

90 **Die Störungen.** Nach dem Newton'schen Gravitationsgesetz ist die Sonne, wie dies bereits angedeutet wurde, nicht mehr ein absolut fester Punkt, und wäre außer der Sonne nur noch ein einziger Planet vorhanden, so würde der Planet sowohl wie die Sonne um ihren gemeinschaftlichen Schwerpunkt eine Ellipse beschreiben. Dieser gemeinschaftliche Schwerpunkt wird dem Mittelpunkte der Sonne um so näher liegen, je kleiner die Masse des Planeten im Vergleich zu dem der Sonne ist, so daß also die Ellipse, welche der Mittelpunkt der Sonne zu beschreiben hätte, sehr klein wäre im Vergleich zu der vom Planeten beschriebenen. Mag man aber die Bewegung des Planeten nun auf den gemeinschaftlichen Schwerpunkt oder auf den Mittelpunkt der Sonne beziehen, so würde seine Bahn eine rein elliptische sein, so lange nur ein einziger Planet die Sonne umkreiste.

So verhält sich aber die Sache nicht. Die Sonne wird von vielen Pla-

neten umkreist, und jeder dieser Planeten wird nicht allein von der Sonne, sondern zugleich von allen übrigen angezogen. Daraus folgt nun, daß die Bewegung eines jeden Körpers im Planetensysteme weit verwickelter ist, als wir bisher angenommen haben. Weil aber die Masse der Sonne die Masse der Planeten so bedeutend übertrifft, so ist die wahre Bahn jedes Planeten doch nur sehr wenig von der elliptischen abweichend, wie sie sein würde, wenn der störende Einfluß der übrigen Planeten nicht vorhanden wäre.

Die Kepler'schen Gesetze sind demnach nur als Annäherungsgesetze zu betrachten, welche nahezu die wahre Bewegung der Planeten darstellen, aber doch noch Differenzen von derselben zeigen, welche glücklicherweise nicht groß genug waren, um Kepler an der Auffindung seiner einfachen Gesetze zu hindern.

Die Anziehungen, welche ein Planet von Seiten aller übrigen erfährt, werden ihn also nur sehr wenig von der elliptischen Bahn entfernen, welche er ohnedies verfolgen würde; die Modificationen, welche auf diese Weise in der Planetenbewegung hervorgebracht werden, nennt man Störungen (Perturbationen).

Um die Untersuchung dieser verwickelten Bewegung zu erleichtern, nimmt man einen eingebildeten (fictiven) Planeten an, welcher sich in einer elliptischen Bahn bewegt, deren Elemente eine allmälige Aenderung erleiden, während dann der wahre Planet bald auf der einen, bald auf der anderen Seite dieses fictiven Planeten oscillirt, ohne sich zu weit von demselben zu entfernen.

Die allmäligen Veränderungen in den Elementen der elliptischen Bewegung des fictiven Planeten nennt man seculare Störungen, die Oscillationen des wahren Planeten aber auf die eine und andere Seite des fictiven werden periodische Störungen genannt. Die allmälige Aenderung der Schiefe der Ekliptik, das langsame Fortrücken des Periheliums der Planeten sind solche seculare Störungen, welche die Beobachtung nachgewiesen hat und von welchen die Theorie der allgemeinen Schwere vollständige Rechenschaft giebt.

Eines der merkwürdigsten Resultate, zu denen man geführt wurde, indem man die Störungen der Planetenbahnen zu berechnen suchte, ist das, daß die großen Axen der elliptischen Bahnen, auf welchen sich die fictiven Planeten bewegen, stets dieselben Werthe beibehalten. Die secularen Störungen afficiren alle Elemente der elliptischen Bewegung mit Ausnahme der großen Axe, welche stets dieselbe bleibt. Da die Umlaufszeit eines Planeten durch das dritte Kepler'sche Gesetz mit der Länge der großen Axe verknüpft ist, so hat die Unveränderlichkeit der großen Axe auch die Unveränderlichkeit der Umlaufszeit zur Folge.

Die Excentricität und die Neigung der Planetenbahnen erleiden allmälig fortschreitende Veränderungen. Obgleich nun aber diese Aenderungen Jahrhunderte hindurch in demselben Sinne vor sich gehen, so sind sie dennoch periodisch, wenngleich diese Perioden von sehr langer Dauer sind, so daß weder die Excentricitäten noch die Neigungen der Planetenbahnen über gewisse ziemlich enge Gränzen hinaus ab- oder zunehmen.

In der Gesammtheit der eben angedeuteten Resultate in Betreff der gro-

ßen Axen, der Excentricitäten und der Neigungen der Planetenbahnen besteht das, was man die Stabilität des Weltsystemes nennt.

Die Störungen, welche ein Planet auf die übrigen und namentlich auf diejenigen ausübt, deren Bahnen der seinigen zunächst liegen, sind natürlich von ihrer Masse abhängig, und so kommt es, daß man aus den durch einen Planeten erzeugten Störungen auf seine Masse schließen kann. Dies ist nun auch der einzige Weg, auf welchem sich die Masse derjenigen Planeten ermitteln läßt, welche nicht von Trabanten umkreist sind. Es ist begreiflich, daß die aus den Störungen abgeleiteten Werthe der Massen der Planeten nicht den Grad der Genauigkeit haben wie diejenigen, welche man aus Vergleichung ihrer Trabanten berechnet.

91 **Entdeckung des Neptun.** Bouvard fand 1821, daß die von Herschel gemachten Beobachtungen des Uranus sich nicht mit denjenigen Bahnelementen in Uebereinstimmung bringen ließen, welche sich aus den Beobachtungen von 1781 bis 1820 ergeben; aber auch später wich Uranus wieder merklich von der Bahn ab, welche er nach den von Bouvard berechneten Tafeln hätte durchlaufen sollen. Aus den Beobachtungen von 1833 bis 1834 hat Airy nachgewiesen, daß der Radius Vector für diese Jahre von den Tafeln um eine Größe abweiche, welche die Entfernung des Mondes von der Erde übertrifft.

Daraus ergiebt sich nun, daß die Bahnelemente des Uranus verschieden ausfallen, je nachdem man sie aus verschiedenen Beobachtungsperioden ableitet.

Schon Bouvard zeigte, daß sich diese Abweichungen nicht auf die von Jupiter und Saturn herrührenden Störungen zurückführen ließen, und daß man zu ihrer Erklärung einen noch jenseits des Uranus um die Sonne kreisenden Planeten annehmen müsse.

Mädler sagte in dieser Beziehung schon in der ersten Auflage seiner »populären Astronomie«, welche im Jahre 1841 erschien:

»Wenn man beim Saturnslaufe die Störungen des Uranus nicht berücksichtigte, so würde man ganz ähnliche Abweichungen finden, und wenn man sehr genaue Saturnsbeobachtungen aus einer langen Reihe von Jahren besessen hätte, so würde es möglich gewesen sein, durch analytische Combinationen den Uranus theoretisch zu entdecken, bevor ihn Herschel aufgefunden hätte, vorausgesetzt, daß alle anderen störenden Massen hinreichend genau bekannt und gehörig in Rechnung gebracht worden wären.

»Es liegt nun nahe, diesen Schluß vom Saturn auf Uranus um ein Glied weiter zu übertragen und auf einen jenseits des Uranus laufenden und diesen störenden Planeten zu schließen: ja man darf die Hoffnung aussprechen, daß die Analysis einst diesen höchsten ihrer Triumphe feiern und durch ihr geistiges Auge Entdeckungen in den Regionen machen werde, in welche das körperliche Auge bis dahin einzudringen nicht vermochte.«

Diese Hoffnung ist bald auf das Glänzendste in Erfüllung gegangen.

Nachdem sich Leverrier von Neuem überzeugt hatte, daß man durch die bekannten Planeten die Störungen des Uranus nicht erklären könne, unternahm

er es, den Ort und die Masse des noch unbekannten Planeten zu berechnen, welcher die fraglichen Abweichungen veranlasse.

Adams in Cambridge bearbeitete gleichzeitig denselben Gegenstand, ohne daß Einer von den Bestrebungen des Anderen Kenntniß hatte. Beide Gelehrte gelangten ganz unabhängig von einander zu demselben Ziele, indem sie den Ort am Fixsternhimmel bestimmten, wo der neue Planet zu suchen sei. Ihre Resultate stimmen fast ganz genau überein.

Leverrier publicirte indeß seine Arbeit früher als Adams. Am 23. September 1846 erhielt Galle in Berlin die Nachricht von dem Resultat der Leverrier'schen Rechnungen, und es gelang ihm in der That, indem er das Fernrohr nach der bezeichneten Stelle des Himmels richtete, den gesuchten Planeten aufzufinden, welcher alsbald den Namen Neptun erhielt.

Störungen der Kometen. Die Kometen erleiden, wenn sie in die 92
Nähe von Planeten kommen, so große Störungen, daß ihre Umlaufszeit dadurch bedeutend vergrößert oder verkleinert, ja daß ihre Bahn so verändert wird, daß sie mit ihrer vorherigen Gestalt gar keine Aehnlichkeit mehr hat.

Ein merkwürdiges Beispiel der Art liefert uns der Komet von 1770. Er hatte sich der Erde bis auf 360000 Meilen genährt, und die beobachteten Orte wichen so sehr von einer parabolischen Bahn ab, daß man für ihn eine elliptische Bahn zu berechnen suchte. In der That genügte den Beobachtungen eine Ellipse, deren große Axe 3,14 Erdweiten betrug, bei einer Umlaufszeit von 5 Jahren 209 Tagen.

Aber weder vorher noch nachher ist dieser Komet wieder beobachtet worden. Wenn man für die erwähnte elliptische Bahn rückwärts rechnet, so ergiebt sich, daß der Komet im Mai 1767 dem Jupiter so nahe war, daß die Wirkung dieses Planeten momentan stärker als die der Sonne sein mußte; erst durch diese Einwirkung wurde der Komet in die Bahn gebracht, in welcher man ihn 1770 beobachtete, während er bis dahin eine ganz andere Bahn verfolgt hatte. In seiner neuen Bahn kam der Komet im Jahre 1776 abermals ins Perihelium, konnte aber nicht beobachtet werden, weil zu dieser Zeit die Sonne gerade zwischen den Kometen und die Erde zu stehen kam.

In der aus den Beobachtungen von 1770 berechneten Ellipse fortlaufend, mußte aber dieser Komet im August 1779 dem Jupiter abermals sehr nahe, und zwar so nahe kommen, daß er zwischen dem Planeten und dem vierten Satelliten hindurchging. In dieser Nähe mußte er vom Jupiter eine 24mal stärkere Wirkung erfahren als von der Sonne, und dadurch wurde er wieder vollständig aus der Bahn gebracht, die er seit 1767 verfolgt hatte, weshalb er denn auch im Jahre 1781 nicht wieder beobachtet wurde, wo man eine sichtbare Wiederkehr desselben hätte erwarten können, wenn er nicht durch jene Störungen aus der Bahn von 1770 wäre abgelenkt worden.

Nach den früher bestimmten Bahnelementen sollte die Rückkehr des Halley'schen Kometen gegen Anfang des Jahres 1758 stattfinden. Nach Clairaut's Rechnungen hatte er aber seit seinem letzten Erscheinen bedeutende Stö-

rungen erlitten, und nach denselben war seine Rückkehr durch den Jupiter ungefähr um 518, durch Saturn um 100 Tage verzögert worden, so daß sie erst in der Mitte des April 1759 zu erwarten war. In der That ging der Halley'sche Komet am 12. März 1759 durch das Perihelium.

Während also einerseits die Kometen sehr bedeutende Störungen durch die Planeten erfahren, hat man bis jetzt noch keine Störungen nachweisen können, welche die Planeten durch Kometen erlitten hätten, woraus sich ergiebt, daß die Masse der Kometen sehr klein im Vergleich zu der Masse der Planeten sein muß.

Wäre z. B. der Komet von 1770 an Masse der Erde gleich, so müßte er in seiner Erdnähe solche Störungen hervorgebracht haben, daß das Erdjahr dadurch um fast 3 Stunden verlängert worden wäre. Es ist aber nicht die mindeste Verlängerung der Jahresdauer bemerkt worden, während eine Verlängerung von 2 Secunden der Beobachtung nicht hätte entgehen können, woraus denn folgt, daß die Masse des Kometen von 1770 gewiß noch nicht $^1/_{5000}$ der Erdmasse sein kann.

93 **Störungen der Mondsbahn.** Die raschen Aenderungen, welchen die Elemente der Mondsbahn unterworfen sind (§. 65, S. 149), sind die Folge der bedeutenden störenden Kräfte. Für den Mond ist die Erde der Centralkörper, und wenn sie nebst dem Monde allein im Raume sich befände, so würde der Mond eine Ellipse beschreiben, deren einen Brennpunkt die Erde einnimmt und deren Gestalt eben so unveränderlich sein würde wie ihre Lage im Raume. Nun aber wirkt die Sonne auf den Mond als störender Körper, und in Folge ihrer so bedeutenden Masse sind auch die Störungen, welche sie im Mondslauf hervorbringt, sehr bedeutend.

Die Erde wird ebenso wie der Mond beständig von der Sonne angezogen, und indem sie ihre Bahnen durchlaufen, fallen sie gewissermaßen stets gegen diesen Centralkörper hin. Wenn nun die Anziehungen der Sonne auf die Masseneinheit des Mondes und auf die Masseneinheit der Erde immer gleich wären, so würde der Fall beider Weltkörper gegen die Sonne hin ganz derselbe sein; ihre gegenseitige Stellung würde also dadurch nicht alterirt werden, der Mond würde ganz so um die Erde kreisen, als ob die Sonne gar nicht vorhanden wäre.

So verhält es sich aber nicht. Die Anziehung, welche die Sonne auf die Einheit der Mondmasse ausübt, ist bald größer, bald kleiner, als die Kraft, mit welcher die Einheit der Erdmasse von der Sonne angezogen wird, und daraus gehen denn Störungen hervor, deren vorzüglichste Wirkungen wir schon früher kennen lernten.

Zur Zeit des Neumondes ist der Mond der Sonne näher als die Erde, also wird zu dieser Zeit die Einheit der Mondmasse stärker von der Sonne angezogen als die Einheit der Erdmasse, der Mond gravitirt schneller gegen die Sonne hin als die Erde, der störende Einfluß der Sonne wirkt also jetzt dahin, den Abstand des Mondes und der Erde zu vergrößern.

Zur Zeit des Vollmondes ist die Erde der Sonne näher, die Erde gra-

vitirt also zu dieser Zeit stärker gegen die Sonne hin als der Mond, also auch jetzt wirkt die störende Kraft der Sonne dahin, die Entfernung der beiden Körper zu vergrößern.

Diese störende Wirkung der Sonne ist aber offenbar größer, wenn sich die Erde in der Sonnennähe, kleiner, wenn sie sich in der Sonnenferne befindet, die Mondsbahn muß sich deshalb etwas zusammenziehen, während die Erde sich vom Perihelium zum Aphelium bewegt, um sich dann wieder etwas auszudehnen, während die Erde den Bogen vom Aphelium bis zum Perihelium durchläuft.

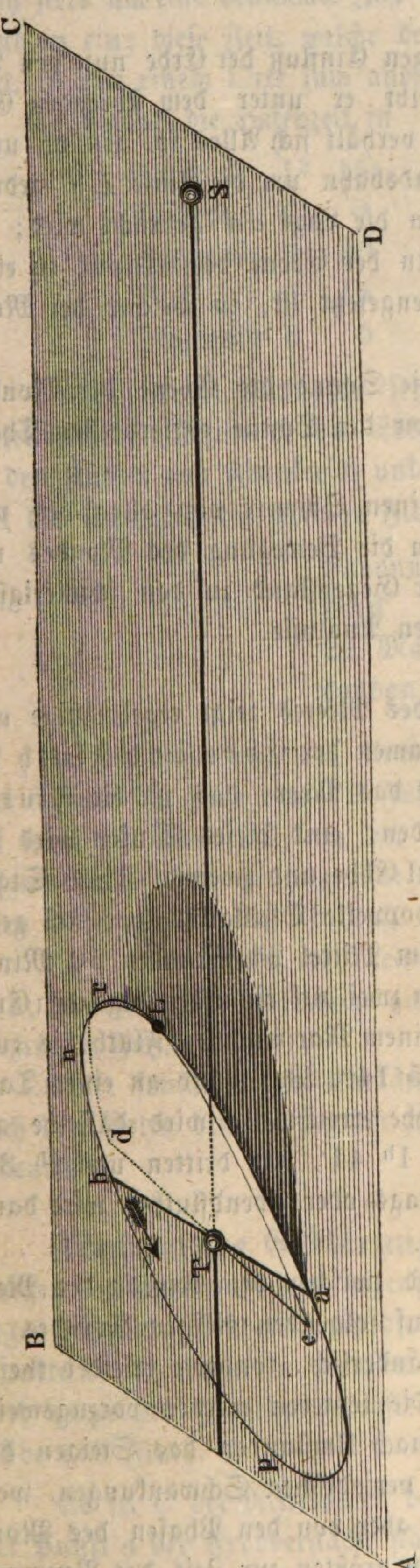


Fig. 137.

Nach dem dritten Kepler'schen Gesetz muß aber diese Erweiterung und Zusammenziehung der Mondsbahn auch ein periodisches Ab- und Zunehmen der Umlaufszeit des Mondes zur Folge haben; die Umlaufszeit des Mondes muß also ungefähr zur Zeit des Wintersolstitiums etwas größer sein, als zur Zeit des Sommersolstitiums.

Diese periodische Aenderung in der Umlaufszeit des Mondes, welche den Namen der jährlichen Gleichung führt, war bereits schon von Tycho de Brahe beobachtet worden. In der That ist die siderische Umlaufszeit des Mondes zu Anfang des Jahres ungefähr um $^1/_4$ Stunde größer als in der Mitte des Jahres.

Wir wollen nun noch versuchen, so weit es auf elementarem Wege möglich ist, verständlich zu machen, wie durch den störenden Einfluß der Sonne der Rückgang der Knoten der Mondsbahn bewirkt wird.

Es stelle *ABCD*, Fig. 137, ein Stück der Ebene der Erdbahn dar; *S* sei die Sonne, *T* die Erde, *aLbp* die Mondsbahn, welche die Ekliptik in der Knotenlinie *ab* schneidet. Ohne die Einwirkung der Sonne würde der Mond stets in derselben Ebene sich fortbewegen, die Knotenlinie würde also unverändert bleiben. Die Einwirkung der Sonne äußert aber ein Bestreben, die Ebene seiner Bahn fortwährend zu ändern, namentlich wenn der Mond sich in denjenigen

Punkten seiner Bahn befindet, welche der Sonne am nächsten und am entferntesten liegen.

In dem Punkte L seiner Bahn angekommen, welcher der Sonne am nächsten liegt, strebt die Einwirkung der Sonne offenbar dahin, den Mond aus der durch T und das Bogenstück, welches er zuletzt durchlief, gelegten Ebene herauszubringen.

Statt daß der Mond unter dem alleinigen Einfluß der Erde nun den Bogen Lnb zurückgelegt haben würde, beschreibt er unter dem störenden Einflusse der Sonne den Bogen Lrd, kurz es verhält sich Alles so, als ob unter dem Einflusse der Sonne die Ebene der Mondsbahn um die Linie LT gedreht würde, wodurch dann die Knotenlinie ab in die Lage cd gebracht wird; die Knotenlinie der Mondsbahn muß sich also in der Ebene der Ekliptik in einer Richtung drehen, welche der Richtung entgegengesetzt ist, in welcher der Mond selbst sich bewegt.

Ganz in der gleichen Richtung strebt die Sonne die Ebene der Mondsbahn zu drehen, wenn sich derselbe in dem von der Sonne entferntesten Theile seiner Bahn befindet.

So giebt denn das Gesetz der allgemeinen Schwere von allen den verschiedenen Ungleichheiten Rechenschaft, welchen die Bewegung des Mondes unterworfen ist; ohne Zweifel gehört aber dieser Gegenstand zu den schwierigsten und verwickeltsten Aufgaben der mathematischen Analysis.

94 **Ebbe und Fluth.** Die Oberfläche des Meeres zeigt regelmäßige und periodische Oscillationen, welche unter dem Namen der Ebbe und Fluth bekannt sind. Ungefähr 6 Stunden lang steigt das Meer, das ist die Fluth; dann fällt es wieder in den nächsten 6 Stunden, und dieses Sinken wird die Ebbe genannt. An jedem Tage findet zweimal Ebbe und zweimal Fluth Statt.

Der Zeitraum, innerhalb dessen diese doppelte Oscillation vor sich geht, ist jedoch nicht genau 24 Stunden, sondern im Mittel 24 Stunden 50 Minuten 28 Secunden, gerade die Zeit, welche zwischen zwei auf einander folgenden Culminationen des Mondes verstreicht. Zwischen einem Maximum der Fluth bis zum anderen liegt demnach immer eine Zeit von $12^h 25' 14''$. Wenn also an einem Tage die Fluth Mittags um 12 Uhr ihre größte Höhe erreicht, so wird dasselbe am nächsten Tage um $12^h 50'$, am zweiten um $1^h 41'$, am dritten um $2^h 31'$ u. s. w. stattfinden, und zwischen zwei Nachmittags- oder Abendfluthen wird dann immer eine Morgenfluth in der Mitte liegen.

Die Höhe der Fluth, d. h. der Unterschied zwischen dem Niveau des Meeres zur Zeit seines höchsten und seines darauf folgenden tiefsten Standes ist selbst für einen und denselben Ort nicht unveränderlich, sondern erleidet theils periodische, theils zufällige Schwankungen. Die letzteren werden vorzugsweise durch Winde und Stürme bedingt, welche je nach Umständen das Steigen der Fluth bald begünstigen, bald hemmen. Die periodischen Schwankungen, welchen die Höhe der Fluth unterworfen ist, sind aber von den Phasen des Mondes abhängig. Die Höhe der Fluthen wird am größten zur Zeit des Neumon-

des und des Vollmondes (Springfluth), sie ist am kleinsten zur Zeit der Quadraturen.

Aus alledem ersieht man, daß Ebbe und Fluth eine vorzugsweise vom Mond abhängige Erscheinung ist, und in der That tritt auch das Maximum der Fluth stets um eine bestimmte Zeit nach dem Durchgange des Mondes durch den Meridian ein; diese Zeit, welche den Namen Hafenzeit (Hafenetablissement) führt, ist von einem Orte zum anderen in Folge localer Ursachen verschieden.

So beträgt die Hafenzeit in

Cadix	1^h	15′	St. Malo	6^h	30′
Lissabon	4	0	Cherbourg	7	45
Bayonne	3	30	Calais	11	45
Brest	3	45	Vlissingen	1	0
Plymouth	6	5	Hamburg	5	0

Ebenso ist die Fluthhöhe sehr von localen Verhältnissen abhängig; im mittelländischen Meere ist die Ebbe und Fluth kaum merklich, dagegen ist sie an den Küsten von Frankreich und England sehr bedeutend. So ist z. B. zur Zeit der Syzygien die mittlere Fluthhöhe in

Bayonne . . .	9 Fuß,
Brest	20 »
St. Malo . . .	36 »
London . . .	18 »

An der Mündung des Avon (westlich von der Insel Wight) erreicht die Springfluth die Höhe von 42 Fuß. Die höchsten Fluthen auf der ganzen Erde hat wohl die Fundybai, an der südöstlichen Küste des britischen Nordamerika, aufzuweisen. Im Hintergrunde dieser Bai steigen die Springfluthen bis zu einer Höhe von 60 bis 70 Fuß.

An kleinen mitten im Ocean liegenden Inseln ist die Fluth nicht bedeutend; so beträgt die Fluthhöhe auf St. Helena nur 3, auf den Inseln der Südsee nur 2 Fuß.

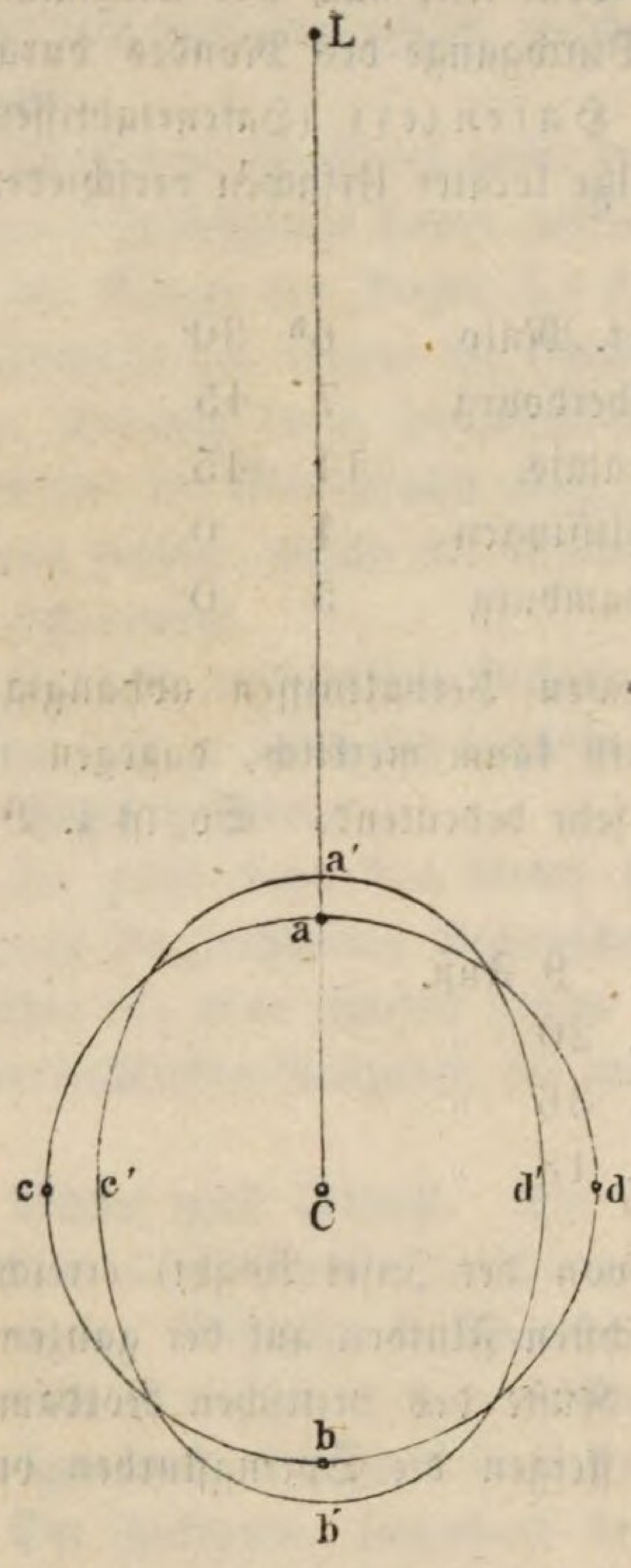
Unter sonst gleichen Umständen nimmt die Fluthhöhe von dem Aequator nach den Polen hin ab; an der nördlichen Küste von Norwegen ist sie sehr unbedeutend.

Mechanische Erklärung der Ebbe und Fluth. Da alle Wir- 95
kungen im Planetensystem gegenseitig sind, so gravitirt nicht allein der Mond gegen die Erde, sondern auch die Erde gegen den Mond. Da aber nicht alle Punkte der Erdkugel in gleichem Abstand von dem Monde stehen, so sind sie auch ungleichen Anziehungskräften unterworfen, und daraus eben entspringt die Ebbe und Fluth.

Es sei C der Mittelpunkt der Erde (Fig. 138 a. f. S.), L der Mond, so wird der Punkt a der Erdoberfläche stärker vom Monde angezogen werden als C, und wenn a nicht fest mit C verbunden ist, so wird a mit größerer Beschleunigung

gegen L gravitiren als C, es wird sich ein Streben zeigen, a von C zu entfernen. Wenn sich also auf der dem Monde zugewandten Seite der Erde gerade ein großer Ocean befindet, so wird hier das Niveau des Meeres steigen.

Fig. 138.



Ganz das Gleiche findet an der von dem Monde entferntesten Stelle b der Erdoberfläche Statt. Hier in b wirkt die anziehende Kraft des Mondes geringer als in C, der Mittelpunkt der Erde gravitirt stärker gegen den Mond als b, und wenn es also die Beweglichkeit der Theilchen nicht hindert, so wird sich auch bei den in der Nähe von b gelegenen Massen das Streben geltend machen, sich von dem Erdmittelpunkte zu entfernen.

Wäre die Erde ganz mit Wasser bedeckt, so würde die sonst kugelförmige Oberfläche desselben die Gestalt $a' c' b' d'$ annehmen; denn indem das Wasser bei a und b steigt, muß es nothwendig bei c und d sinken. Es würde also Fluth sein an den Orten, für welche der Mond im Meridian steht, sei es nun in oberer oder unterer Culmination, Ebbe aber an den Orten, für welche der Mond gerade auf- oder untergeht.

Bezeichnen wir mit d den Abstand des Erdmittelpunktes von dem Mittelpunkte des Mondes, so ist die Kraft, mit welcher die Masseneinheit in C vom Monde angezogen wird, $\frac{fm}{d^2}$, wenn m die Masse des Mondes ist. Die Kraft, mit welcher die Einheit der Masse in b vom Monde angezogen wird, ist aber $\frac{fm}{(d-r)^2}$, wenn r den Halbmesser der Erde bezeichnet; folglich ist die Differenz der Kräfte, welche in C und b wirken:

$$D = \frac{fm}{(d-r)^2} - \frac{fm}{d^2}.$$

Entwickelt man den ersten Theil dieses Werthes, indem man die Division von fm durch $(d-r)^2$ (also durch $d^2 - 2\,dr + r^2$) ausführt, so kommt:

$$\frac{fm}{(d-r)^2} = \frac{fm}{d^2} + \frac{2\,fmr}{d^3} + \frac{3\,fmr^2}{d^4} + \text{etc.},$$

und wenn man davon $\frac{fm}{d^2}$ abzieht, so bleibt:

$$D = \frac{2\,fmr}{d^3} + \frac{3\,fmr^2}{d^4} + \text{rc.}$$

Da der Werth von d sehr groß ist im Vergleich gegen r, so kann man ohne Weiteres alle Glieder dieser Reihe vernachlässigen, welche d^4 und höhere Potenzen von d im Divisor haben; es bleibt also:

$$D = \frac{2\,fmr}{d^3}.$$

Nun aber bewirkt die Sonne in ganz ähnlicher Weise Ebbe und Fluth, wie der Mond, nur sind die Sonnenfluthen wegen der größeren Entfernung der Sonne weniger hoch als die Mondfluthen. Bezeichnen wir mit m' die Masse der Sonne, mit d' ihre Entfernung von der Erde, so haben wir also für die Kraft, welche die Sonnenfluth veranlaßt:

$$D' = \frac{2\,fm'r}{d'^3}.$$

Nun aber ist $d' = 400\,d$ und $m' = 355000\,.\,88\,.\,r$ und danach ergiebt sich dann:

$$D' = \frac{2\,fr\,.\,m\,.\,355000\,.\,88}{d^3\;400^3} = 0{,}488\;D;$$

die Höhe der Sonnenfluthen ist also nahe halb so groß, als die Höhe der Mondfluthen. Da sich nun zur Zeit des Neu- und Vollmondes die Sonnen- und Mondfluthen summiren, so ist die Kraft, welche die Gesammtfluth veranlaßt:

$$1{,}5\;D.$$

Zur Zeit der Quadraturen aber fällt die Mondfluth mit der Sonnenebbe zusammen, die Gesammtfluth erreicht alsdann die Höhe

$$D - 0{,}5\;D = 0{,}5\;D,$$

zur Zeit der Syzygien erreicht also die Fluth eine beinahe 3mal größere Höhe, als zur Zeit des ersten und des letzten Mondviertels.

Wäre die ganze Erdoberfläche mit Wasser bedeckt, so würde der Verlauf der Ebbe und Fluth ein sehr einfacher sein. Alle Punkte, welche auf demselben Meridian liegen, müßten zu gleicher Zeit Hochwasser haben; die Fluthwellen würden, von Nord nach Süd sich erstreckend, in der Richtung von Osten nach Westen fortschreiten, und zwar würde eine solche Fluthwelle den Weg um die ganze Erde in 24 Stunden zurücklegen, am Aequator also mit einer Geschwindigkeit von 225 Meilen in der Stunde fortschreiten müssen. — Ihre größte Höhe müßte eine Fluthwelle an derjenigen Stelle eines Meridians erreichen, an welcher der Mond durch das Zenith geht.

Durch die ungleiche Vertheilung von Wasser und Land wird nun diese ideale Form der Fluthwellen, welche Whewell Isorachien nennt, durchaus verändert. Whewell hat, soweit es nach dem vorhandenen Beobachtungsmaterial möglich war, den Verlauf der Isorachien zu ermitteln gesucht, und hat sie dann in Karten eingetragen. In diesen Karten ist z. B. eine Curve durch alle Orte des Oceans gezogen, welche an einem bestimmten Tage um 1 Uhr Hochwasser haben, eine zweite, dritte, vierte u. s. w. zeigt die Stellen an, bis zu welchen das Hochwasser um 2, 3, 4 Uhr u. s. w. vorgedrungen ist.

Tab. XIV. stellt Whewell's Isorachien von 2 zu 2 Stunden dar; der unsichere Theil der Curven ist punktirt.

Man sieht hier deutlich, wie die Fluthwellen, aus dem indischen Ocean nach Westen vordringend, durch den afrikanischen Continent aufgehalten werden. Die südlich vom Cap der guten Hoffnung vorbeischreitenden Fluthwellen treten nun in südöstlicher Richtung in den atlantischen Ocean ein, in welcher Richtung sie auch die Ostküsten von Nordamerika erreichen, während sie in südwestlicher Richtung an die Westküsten von Europa anschlagen. (Näheres in Berghaus' physikalischem Atlas.)

Sowie die Fluthwelle in abgelenkter Richtung in den atlantischen Ocean eintritt, so findet eine Ablenkung der Fluthwellen auch bei Seearmen und Buchten Statt; die Form der Gestade hat dann nicht allein auf die Richtung, sondern auch auf die Geschwindigkeit, mit welcher die Fluthwellen fortschreiten, einen wesentlichen Einfluß; im Allgemeinen wirkt die Nähe der Küsten verzögernd auf die Geschwindigkeit des Fortschreitens.

Werden in ihrem Fortschreiten die Fluthwellen in Buchten eingezwängt, dann erreichen sie, indem sie gleichsam concentrirt werden, eine ungeheure Höhe, wie wir dies an dem bereits angeführten Beispiel der Fundybai sehen.

Je nach der Configuration der Küsten wird es öfters vorkommen, daß an gewissen Stellen die Fluthwellen von verschiedenen Seiten zusammentreffen, wie dies z. B. in dem Meere zwischen England und Irland der Fall ist, wo die Fluthen von Norden und Süden her eindringen. Hier müssen natürlich Interferenzerscheinungen eintreten, welche das Phänomen noch verwickelter machen und die auffallendsten Abweichungen vom normalen Gang bedingen.

96 **Erklärung der Präcession.** Die Erscheinung der Präcession selbst haben wir bereits oben kennen gelernt; um zu ihrer mechanischen Erklärung zu gelangen, wollen wir aber zunächst eine andere Erscheinung betrachten, welche sich auf denselben Erklärungsgrund zurückführen läßt, nämlich die langsame Bewegung, welche die Axe eines rotirenden Kreisels annimmt, wenn dieselbe nicht ganz vertical steht. Man kann die Erscheinung an jedem Kreisel, am bequemsten vielleicht an dem allgemein bekannten Brummkreisel (Brummtoppich) beobachten.

Fig. 139.

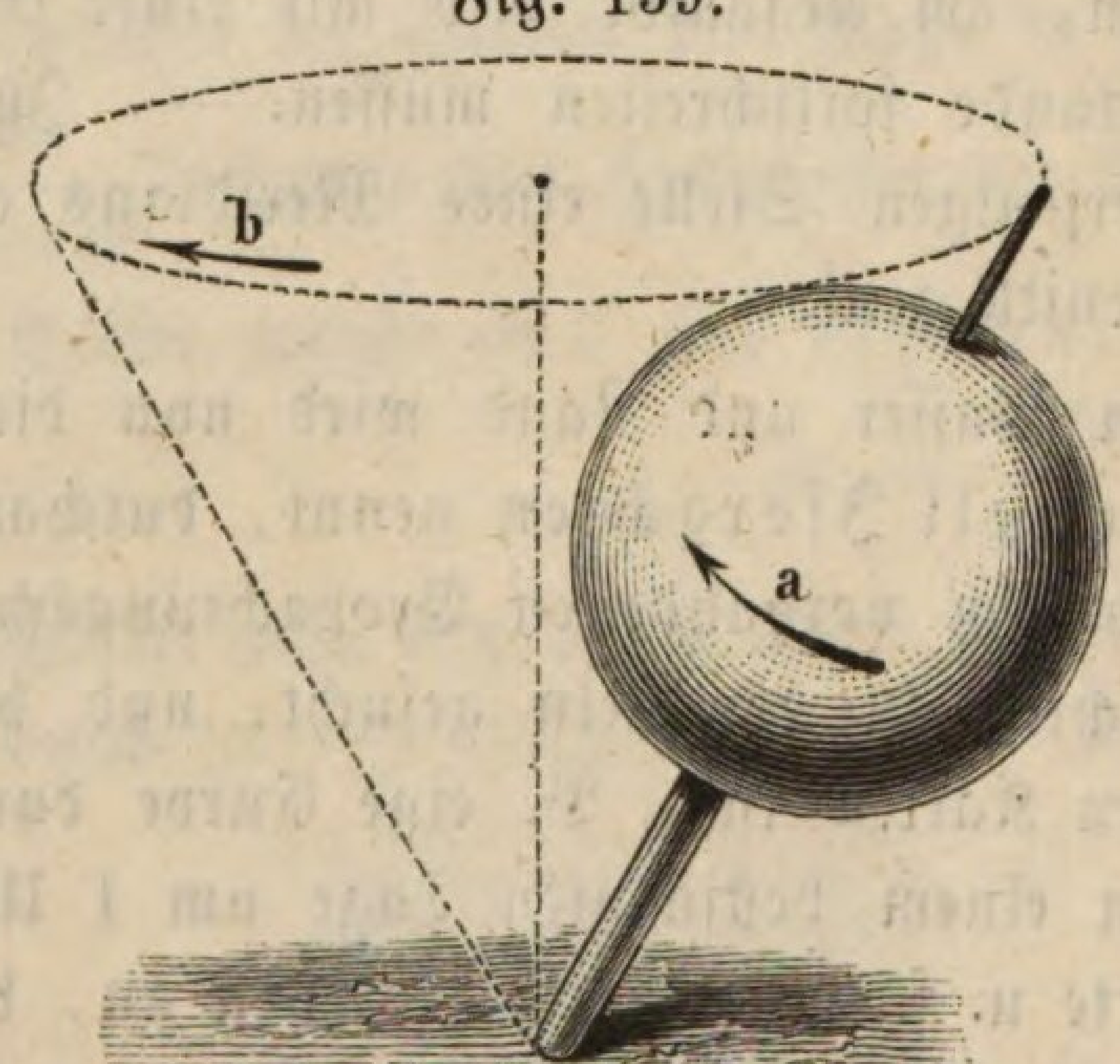
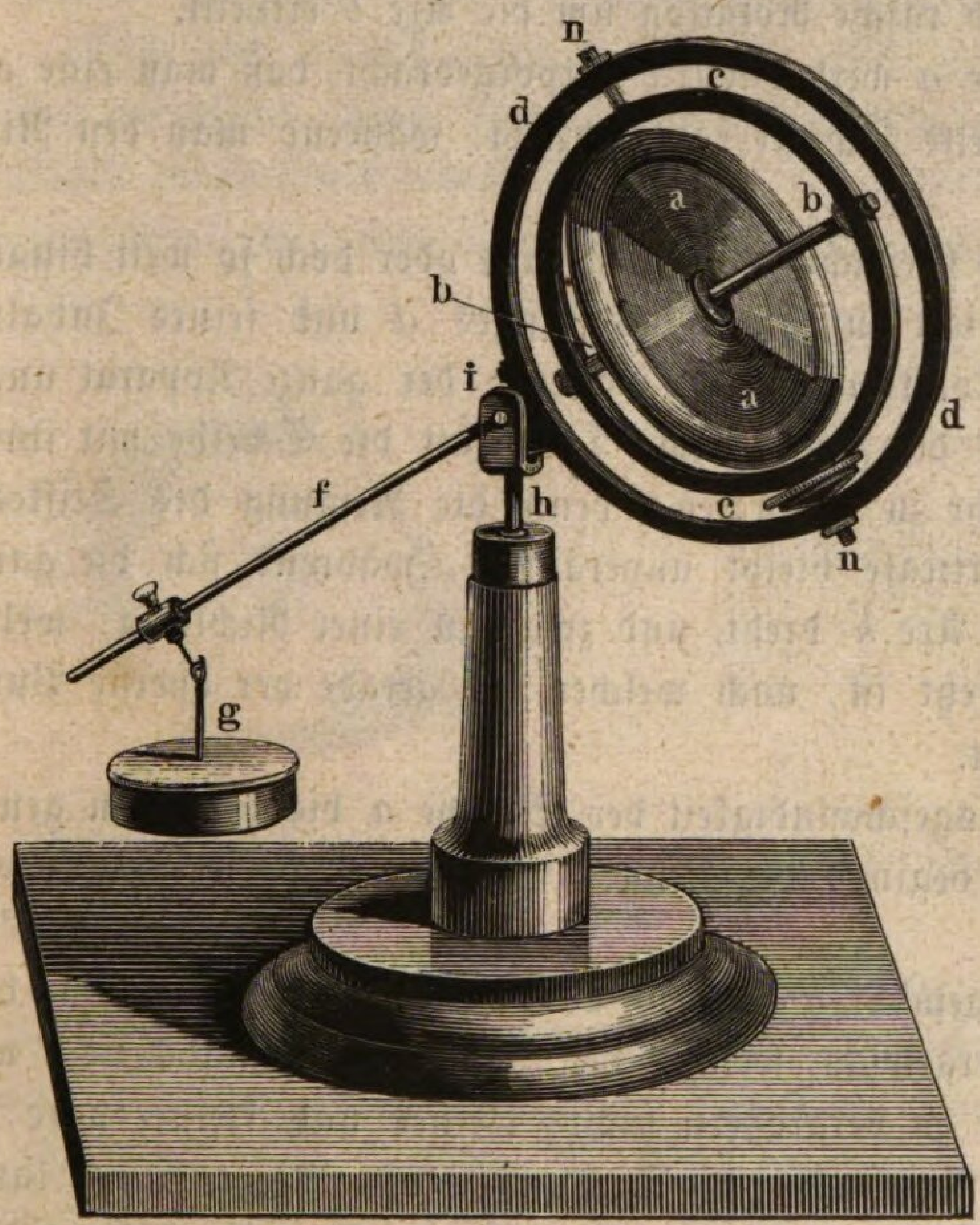


Fig. 139 stellt einen solchen Kreisel dar. Wenn die Rotationsaxe desselben, gleich nachdem er angelassen worden ist, nicht vertical steht, sondern mit der Richtung des Bleilothes einen Winkel macht, wie es die Figur zeigt, so fällt er nicht etwa um, wie man auf den ersten Anblick wohl vermuthen könnte, weil der Schwerpunkt nicht unterstützt ist, sondern die Axe des Kreisels beschreibt in langsamer Bewegung die Oberfläche eines

Kegels, wie dies in unserer Figur durch punktirte Linien angedeutet ist, ohne daß der Kreisel sich mehr gegen die horizontale Ebene neigt, ja der Kreisel richtet sich allmälig mehr und mehr auf, bis endlich seine Axe senkrecht steht, welches letztere jedoch nur eine Folge der Reibung ist, welche die Spitze des Kreisels am Boden zu überwinden hat; dieses Aufrichten des Kreisels würde nicht stattfinden, wenn keine Reibung stattfände.

Wenn der Kreisel in der Richtung rotirt, welche der Pfeil *a* andeutet, so dreht sich die Rotationsaxe in der Richtung des Pfeiles *b*.

Fig. 140.



Der Kreisel fällt erst um, wenn seine Rotationsgeschwindigkeit bis zu einem gewissen Grade abgenommen hat.

Noch viel schöner und sicherer läßt sich diese langsame Drehung einer Rotationsaxe am Fessel'schen Rotationsapparate zeigen, welcher in Fig. 140 dargestellt ist: *a* ist eine runde messingene Scheibe, deren äußere Begränzung durch einen dicken messingenen Wulst gebildet wird. Durch die Mitte dieser Scheibe geht eine stählerne Axe *b*, welche von einem messingenen Ringe *c* getragen wird. Der Ring *c* ist endlich wieder in dem Ringe *d* befestigt und um eine Axe *nn* drehbar, welche rechtwinklig auf der Axe *b* steht.

Der Ring *d* ist mit einem Ansatz versehen, welcher das Stahlstäbchen *f* trägt, und welcher mittelst eines horizontalen Stiftes in der Gabel *i* befestigt ist. Die Gabel *i* aber sitzt am oberen Ende eines Stahlstäbchens *h*, dessen untere Hälfte in einer verticalstehenden Hülse steckt, so daß die ganze obere Vorrichtung um die verticale Axe *h* und um den horizontalen Stift drehbar ist, welcher durch *i* und den an dem Ringe *d* befestigten Ansatz geht. Da die Scheibe *a* nun außerdem noch um die Axen *b* und *n* drehbar ist, so ist also hinlänglich für ihre allseitige freie Beweglichkeit gesorgt.

An dem Stäbchen *f* ist ein Gewicht *g* angehängt, welches, an einer bestimmten Stelle festgestellt, gerade dem Ringe *d* mit Allem, was sich innerhalb desselben befindet, das Gleichgewicht hält, so daß also der Apparat von selbst in einer solchen Stellung stehen bleibt, wie es die Figur zeigt.

Rückt man nun das Gewicht *g* an dem Stäbchen *f* hinauf oder nimmt man es ganz weg, so bekommt der Ring *d* mit der Scheibe *a* das Uebergewicht und senkt sich, bis er auf den Rand der Säule anstößt, in welcher *h* steckt; rückt man dagegen das Gewicht *g* von der Gleichgewichtsstellung aus an dem Stäbchen *f* mehr herab, so fällt natürlich das Uebergewicht auf die Seite von *g*; die ganze Vorrichtung wird um die horizontale in *i* steckende Axe gedreht, bis *g* auf dem Boden oder an dem Fuße des Stäbchens anstößt.

Die eben besprochenen Gleichgewichtsverhältnisse beziehen sich aber nur auf den Ruhezustand des Apparates; die Sache ändert sich sogleich, wenn man der Scheibe *a* eine hinlänglich rasche Rotation um die Axe *b* ertheilt.

Die Rotation der Scheibe *a* wird dadurch hervorgebracht, daß man eine auf die stählerne Axe *b* aufgewickelte Schnur rasch abzieht, während man den Ring *c* festhält.

Wird nun, nachdem das Gewicht *g* ganz entfernt oder doch so weit hinaufgerückt ist, daß das Uebergewicht auf Seite des Ringes *d* und seines Inhaltes ist, die Scheibe *a* in rasche Rotation versetzt, während der ganze Apparat ungefähr die Stellung hat, wie es die Figur zeigt, so scheint die Scheibe mit ihrem Ringe der Schwere nicht mehr zu gehorchen; denn die Neigung des Stiftes *f* und der Axe *b* gegen die Verticale bleibt unverändert, während sich die ganze Vorrichtung um die verticale Axe *h* dreht, und zwar in einer Richtung, welche derjenigen gerade entgegengesetzt ist, nach welcher sich gerade der oberste Punkt der rotirenden Scheibe bewegt.

Erst wenn die Rotationsgeschwindigkeit der Scheibe *a* bis zu einem gewissen Grade abgenommen hat, beginnt der Ring *d* mit der Scheibe *a* ganz allmälig herabzusinken.

Wenn man das Gegengewicht *g* an dem Stäbchen *f* mehr und mehr herunterschiebt, so daß das Uebergewicht, welches den Winkel des Stäbchens *f* und der Axe *b* mit der Verticalen zu vergrößern sucht, kleiner und kleiner wird, so wird unter übrigens gleichen Umständen die Drehung um die Axe *h* immer langsamer werden, bis sie endlich ganz aufhört, wenn *g* so befestigt ist, daß es dem Ringe *d* mit seinem Inhalte gerade das Gleichgewicht hält und in eine Drehung von entgegengesetzter Richtung übergeht, wenn *g* so weit heruntergeschoben wird, daß das Uebergewicht auf seiner Seite ist und ein Bestreben zeigt, den Winkel zu verkleinern, welchen das Stäbchen *f* und die Axe *b* mit der Verticalen machen.

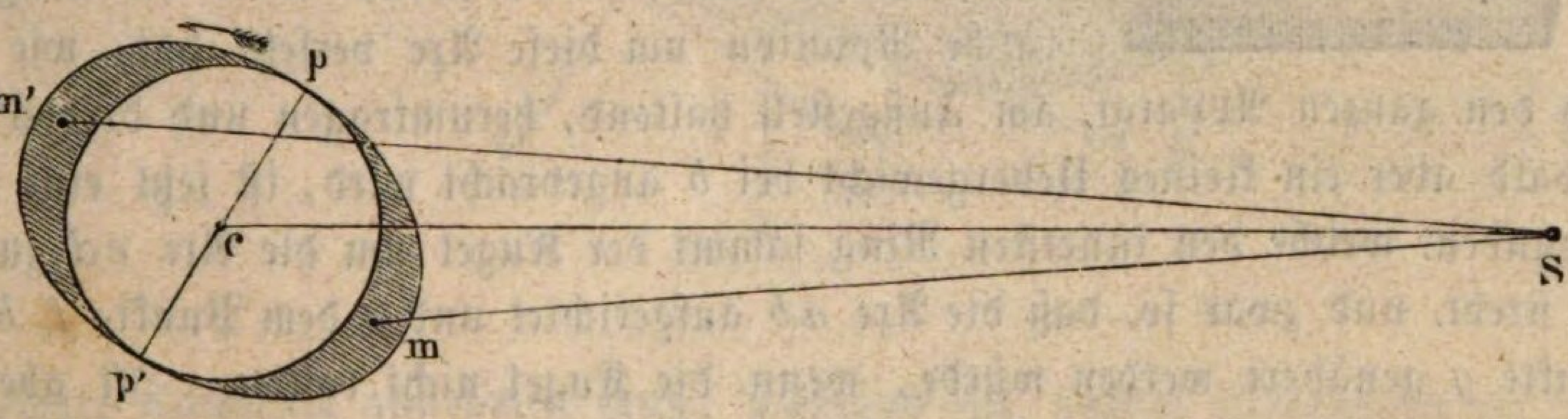
In allen eben betrachteten Fällen haben wir es mit einem Körper zu thun, welcher um eine Axe rotirt und auf welchen Kräfte wirken, welche den Winkel zu vergrößern oder zu verkleinern streben, welchen die Rotationsaxe mit der Verticalen macht.

Ganz ähnlich verhält es sich mit der Erde; sie rotirt um eine Axe, welche einen bestimmten Winkel mit der Ebene der Ekliptik macht, während Kräfte auf sie wirken, welche dahin streben, den Winkel zu verkleinern, welchen die Erdaxe mit derjenigen Linie macht, welche durch ihren Mittelpunkt gehend auf der Ebene der Ekliptik rechtwinklig steht.

Die Kraft, welche die Erdaxe rechtwinklig auf die Ebene der Ekliptik zu stellen strebt, rührt von der Anziehung her, welche die Sonne auf die Erde ausübt. Wenn die Erde eine vollkommene Kugel und ihre Masse gleichförmig um ihren Mittelpunkt vertheilt wäre, so würde die Resultirende aller Wirkungen, welche die Sonne auf die einzelnen Theile der Erde ausübt, durch ihren Mittelpunkt gehen. Diese Resultirende könnte also keinerlei Einfluß auf die Rotationsaxe der Erde ausüben, dieselbe würde stets sich selbst parallel im Raume fortschreiten, wie ja auch an dem Apparat Fig. 140 die Drehung um die Axe *f* aufhört, sobald das Gewicht *g* so gestellt ist, daß in Beziehung auf die durch *i* gehende horizontale Axe Gleichgewicht stattfindet.

Nun aber ist die Erde abgeplattet, und deshalb kann man sie als eine Kugel betrachten, deren Radius dem halben Polardurchmesser gleich, und welche noch mit einem Wulst bedeckt ist, welcher, am Aequator am dicksten, nach den Polen zu abnimmt, wie dies Fig. 141 in übertriebener Weise angedeutet ist, welche

Fig. 141.



die Stellung der Erde gegen die Sonne zur Zeit des Sonnensolstitiums darstellt.

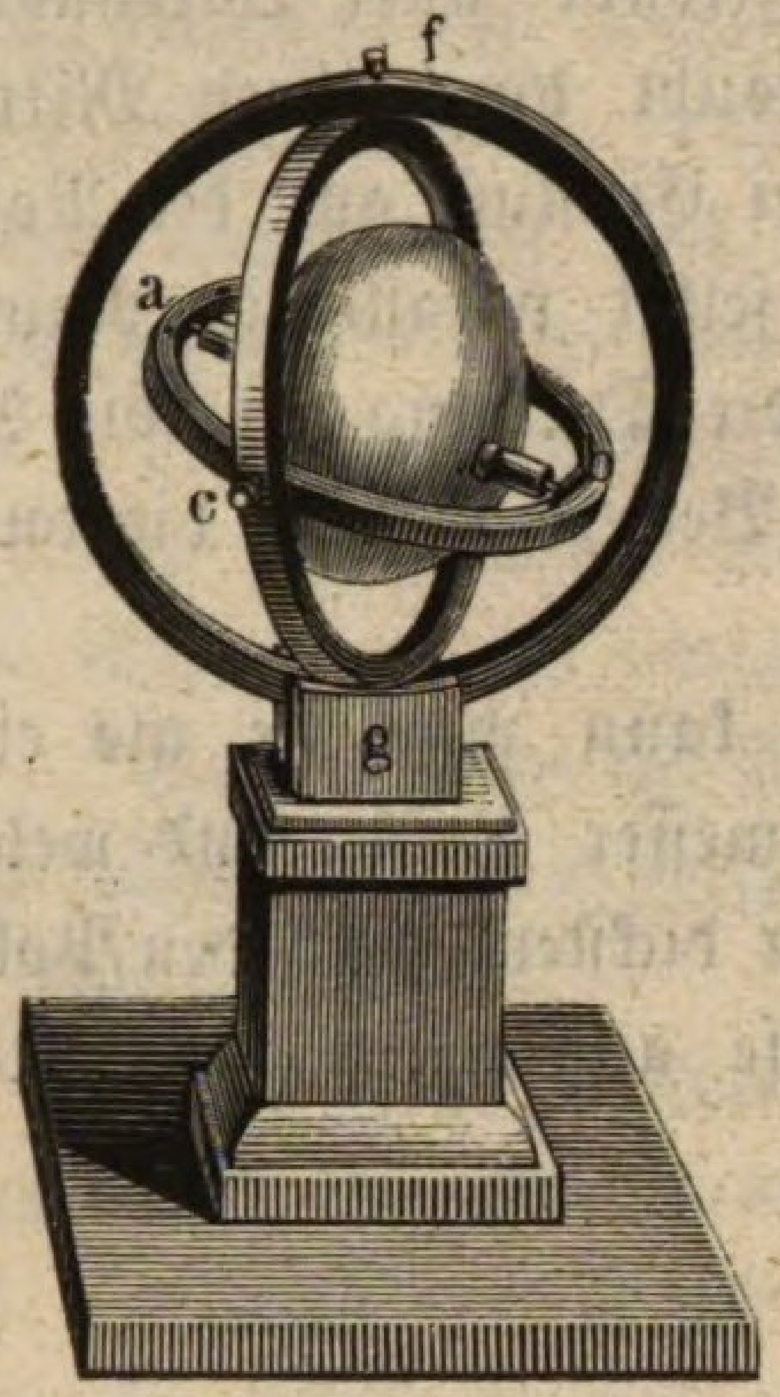
Betrachten wir nun die Wirkung der Sonne *S* auf den Aequatorialwulst für sich, so ist klar, daß die Kraft, mit welcher die Einheit der Masse bei *m* von der Sonne angezogen wird, größer ist als die Anziehung, welche die Sonne auf eine gleich große Masse bei *m'* ausübt; die Wirkung der Sonne auf den fraglichen Wulst strebt also dahin, die Erde in der Richtung des Pfeiles um eine Axe zu drehen, welche in der Ebene der Ekliptik liegt und senkrecht auf *SC* steht. Wir haben also hier in der That ein ganz ähnliches Verhältniß, wie wir es beim Kreisel und der Fessel'schen Rotationsmaschine kennen lernten.

Zur Zeit des Wintersolstitiums, wo der Südpol *p'* der Erde der Sonne zugekehrt ist, wird *m'* stärker von der Sonne angezogen als *m*, so daß also auch zu dieser Zeit die Sonne ein Streben äußert, die Erde in der Richtung des Pfeiles zu drehen, also die Erdaxe *PP'* aufzurichten. Zur Zeit der Aequinoctien, wo die Erdaxe rechtwinklig auf *SC* steht; ist die Kraft, welche die Erdaxe zu drehen strebt, gleich Null, wir sehen also, daß die Kraft, welche die Schiefe der Ekliptik zu vergrößern strebt, zur Zeit der Solstitien ein Maximum wird und von da bis zu den Aequinoctien abnimmt.

Zur Erläuterung des Rückganges der Aequinoctialpunkte hat Bohnenberger einen Apparat construirt, welcher nach ihm den Namen des »Bohnenberger'schen Maschinchens« führt. Eine Kugel oder ein Sphäroid von Elfenbein oder

noch besser von Metall ist um eine Axe *ab* drehbar, die in Spitzen läuft, welche in einem messingenen Ringe befestigt sind, Fig. 142. Dieser innerste Ring ist wieder um eine horizontale Axe *cd* (der Endpunkt *d* ist in unserer Figur verdeckt) innerhalb eines zweiten Ringes drehbar, welcher selbst wieder um eine verticale Axe *fg* innerhalb des äußersten auf einem Postamentchen befestigten Ringes gedreht werden kann. Auf diese Weise ist die Kugel sowohl wie ihre Umdrehungsaxe vollkommen frei beweglich.

Fig. 142.



Ist das Gleichgewicht der Kugel und des innersten Ringes so hergestellt, daß ihr Schwerpunkt auf die Axe *cd* fällt, daß also keine Kraft vorhanden ist, welche eine Drehung um die Axe *cd* zu bewirken strebt, so wird die Axe *ab* ihre Stellung im Raume unverändert beibehalten, wenn man die Kugel in rasche Rotation um diese Axe versetzt hat, wie man auch den ganzen Apparat, am Fußgestell haltend, herumtragen und drehen mag. Sobald aber ein kleines Uebergewicht bei *b* angebracht wird, ist jetzt eine Kraft vorhanden, welche den innersten Ring sammt der Kugel um die Axe *cd* zu drehen strebt, und zwar so, daß die Axe *ab* aufgerichtet und *a* dem Punkte *f*, *b* dem Punkte *g* genähert werden würde, wenn die Kugel nicht rotirte. Ist aber die Rotation der Kugel hinlänglich rasch, so bleibt trotz des Uebergewichtes bei *b* die Neigung der Axe *ab* gegen *fg* unverändert, während dagegen eine Drehung der Kugel sammt ihrer Rotationsaxe um die Axe *fg* stattfindet.

Es treten also hier ganz dieselben Verhältnisse ein, wie bei der Rotation der Erdaxe, nur mit dem Unterschiede, daß die Kraft, welche die Axe *ab* aufzurichten strebt, beim Bohnenberger'schen Apparate continuirlich wirkt.

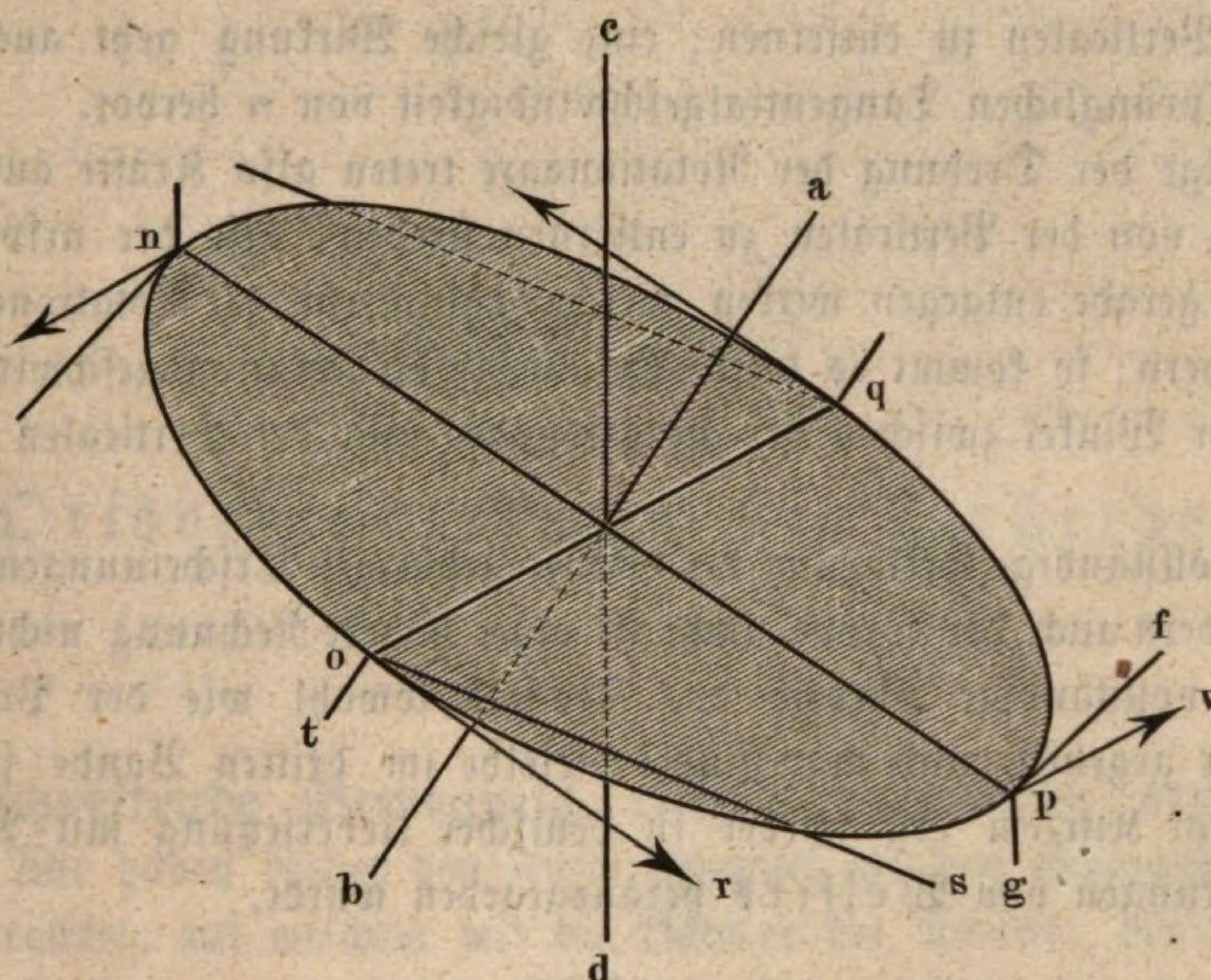
Wie sich die fraglichen Erscheinungen, wenigstens in ihren Hauptzügen, ohne Calcül erklären lassen, hat Poggendorff in seinen Annalen (XC. Band, S. 348) ungefähr in folgender Weise auseinandergesetzt:

Betrachten wir die materielle Scheibe *nopq*, Fig. 143, welche um die Axe *ab*, die einen bestimmten Winkel mit der Verticalen *cd* macht, sehr rasch rotirt. Durch diese Rotation haben alle Theilchen der Scheibe tangentiale Geschwindigkeiten erlangt, welche für die Punkte *o*, *p*, *q* und *n* durch Pfeile angedeutet sind.

Wirkt nun auf die Scheibe eine Kraft, welche die Axe *ab* der verticalen *cd* zu nähern, also die Scheibe um die Axe *oq* zu drehen strebt, so wird der nächste Effect sein, daß die Scheibe in der That ein wenig gedreht, daß also *p* etwas gehoben, *n* etwas gesenkt wird. Dadurch werden nun die Geschwindigkeiten, mit welchen *p* und *n* behaftet sind, nicht alterirt, sie werden gewissermaßen parallel mit sich selbst verschoben. Anders verhält es sich mit den materiellen Theilchen in *o* und *q*; sie werden genöthigt, aus der Richtung der Tangentialgeschwindigkeiten, mit welchen sie eben behaftet sind, herauszutreten; das Theil-

chen *o* z. B. wird genöthigt, die Richtung *os* einzuschlagen. Dadurch wird aber offenbar die ursprüngliche Geschwindigkeit *or* in zwei Seitenkräfte zerlegt, von welchen die eine *os* die Richtung bezeichnet, welche die in *o* an die Peripherie gelegte Tangente annehmen muß, während die andere Seitenkraft *ot* rechtwinklig zur Ebene der Scheibe als ein Druck wirkt, welcher eine Drehung um die Axe *np* zu bewirken strebt, und zwar in der Art, daß die obere Hälfte der Axe *ab* sich nach vorn bewegt.

Fig. 143.



Wird in gleicher Weise die Geschwindigkeit zerlegt, mit welcher ursprünglich ein materielles Theilchen in *q* behaftet war, so ergiebt sich eine Seitenkraft, welche von *q* aus nach oben gerichtet ist, welche also die Scheibe in der gleichen Richtung zu drehen strebt, wie *ot*.

Eine Kraft also, welche die Axe *ab* der Verticalen zu nähern strebt, hat, wenn die Scheibe rotirt, die Folge, daß der Rotationsaxe eine Drehung mitgetheilt wird, welche rechtwinklig zu derjenigen ist, welche die störende Kraft direct hervorzubringen strebt.

Die Bewegung, welche dadurch der Axe *ab* mitgetheilt wird, ist zunächst wenigstens ganz dieselbe, als ob eine Umdrehung um die Verticale *cd* erfolge, und zwar in unserem speciellen Falle so, daß dabei *a* vor- und *b* zurücktritt, daß also die Drehung der Rotationsaxe um die Verticale von oben gesehen in der Richtung erfolgt, nach welcher sich der Zeiger einer Uhr bewegt.

Daß unter den gegebenen Umständen die Drehung der Rotationsaxe in der eben bezeichneten Richtung wirklich stattfindet, davon kann man sich sowohl am Bohnenberger'schen wie am Fessel'schen Apparate überzeugen.

Bei diesem ersten Effecte bleibt aber der Vorgang nicht. Sobald eine Drehung der rotirenden Scheibe um die Axe *np* erfolgt, wird nun auch die Richtung der Tangentialgeschwindigkeiten in *n* und *p* alterirt. Das Theilchen

p, welches die Tangentialgeschwindigkeit *pv* hatte, wird eine Tangentialgeschwindigkeit in der Richtung *pf* annehmen müssen, die Geschwindigkeit *pv* wird also in zwei Componenten zerlegt, von denen die eine nach *pf* gerichtet ist, während die andere *pg* als ein Druck auf die Scheibe wirkt, welcher dahin strebt, die Axe *ab* von der Verticalen zu entfernen; eine gleiche Wirkung geht aus der Zerlegung der ursprünglichen Tangentialgeschwindigkeit von *n* hervor.

In Folge der Drehung der Rotationsaxe treten also Kräfte auf, welche die Rotationsaxe von der Verticalen zu entfernen streben, also der ursprünglich störenden Kraft gerade entgegen wirken, welche dahin strebt, die Rotationsaxe der Verticalen zu nähern; so kommt es denn, daß, wenn die Rotationsgeschwindigkeit groß genug ist, der Winkel zwischen der Rotationsaxe und der Verticalen constant erhalten wird.

Eine vollständige Erklärung der hierher gehörigen Erscheinungen nicht allein der Art, sondern auch der Größe nach, ist ohne höhere Rechnung nicht wohl möglich. Eine vollständige Theorie des Kreisels sowohl wie der Präcession hat schon Euler gegeben, und man findet dieselbe im dritten Bande seiner Mechanik, welche vor Kurzem erst wieder in deutscher Uebersetzung mit Anmerkungen und Erläuterungen von Wolfers herausgegeben wurde.

Achtes Capitel.

Ortsveränderungen der Fixsterne.

Fortschreitende Bewegung einzelner Sterne am Fixsternhimmel. Wir haben bisher den Fixsternhimmel als den unveränderlichen Hintergrund betrachtet, auf welchem wir die Bahnen der Sonne, des Mondes, der Planeten und Kometen projicirt erblicken. Zwar haben wir bereits gesehen, daß die Länge sämmtlicher Gestirne in Folge des Rückganges der Aequinoctialpunkte fortwährend zunimmt, daß auch die Breite derselben in Folge der Nutation veränderlich ist; daß also weder die Erdaxe noch die Ebene der Erdbahn eine unveränderliche Lage im Weltraume haben. Bei alledem könnten aber doch wenigstens die Fixsterne unter sich eine absolut unveränderliche Stellung gegen einander haben; allein auch das ist nicht der Fall, obgleich die hierher gehörigen Verschiebungen so gering sind, daß sie erst nach Verlauf von Jahrhunderten eine namhafte Größe erreichen, und in kürzeren Zeiträumen nur durch Beobachtungen von der äußersten Genauigkeit nachgewiesen werden können. 97

Halley suchte zuerst eine solche Ortsveränderung am Sirius, Arcturus und Aldebaran darzuthun, und in der That steht gegenwärtig Arcturus um $2^1/_2$ Vollmondbreiten von der Stelle entfernt, welche er zu Hipparch's Zeiten einnahm.

Seitdem man überhaupt die Sternörter genauer zu bestimmen im Stande ist, hat man eine solche langsam fortschreitende Ortsveränderung auch noch für andere Sterne nachgewiesen; zunächst geschah dieses von W. Herschel, welcher seine eigenen Beobachtungen mit denen Flamsteed's verglich, und namentlich durch Bessel's und Argelander's Vergleichung von Bradley's Sternpositionen für 1755 mit neueren Sternkatalogen.

Diejenigen Sterne, an welchen man bis jetzt die größte eigene Bewegung beobachtet hat, sind:

2151 Puppis des Schiffes, sechster Größe, mit einer fortschreitenden Bewegung von 7,87 Secunden jährlich; ε Indi, erleidet eine jährliche Verschiebung von 7,74″, und ein Stern siebenter Größe auf der Gränze der Jagdhunde und

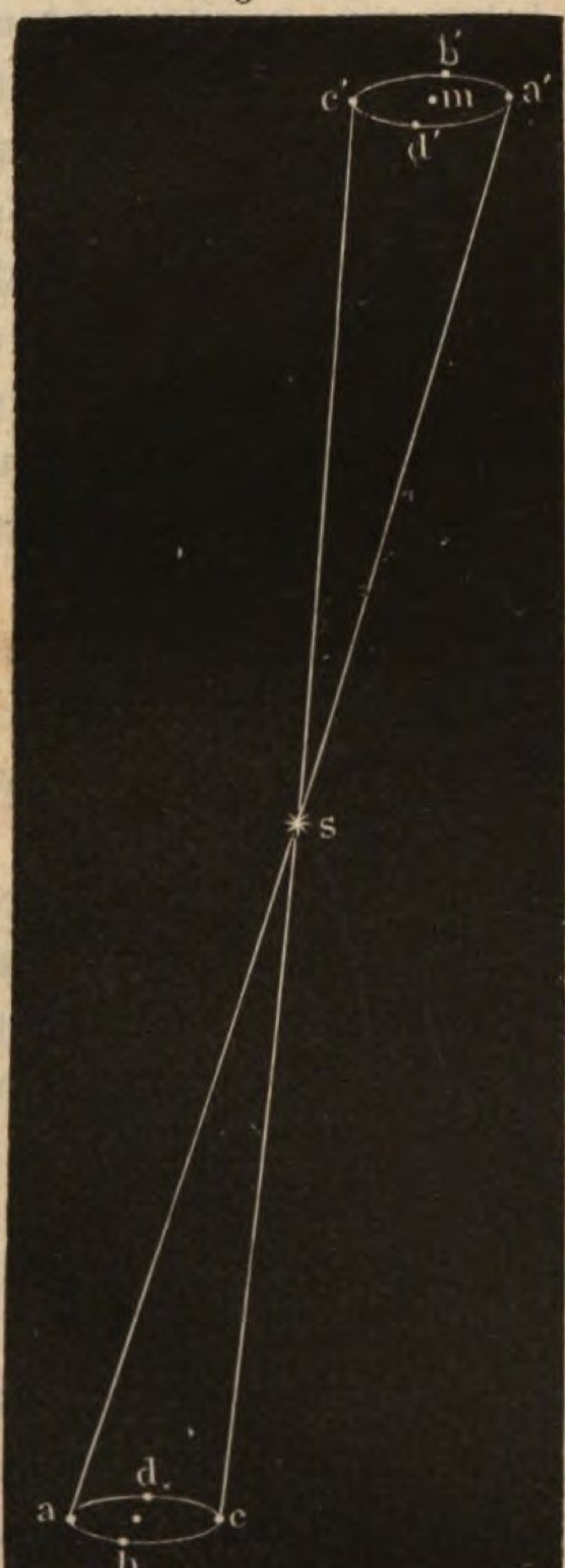
des großen Bären, Nro. 1830 des Katalogs der Circumpolarsterne von Groombridge eine solche von 7 Secunden. Auf diese folgen:

61 Cygni,	Doppelstern	5. 6^m	5,12″	jährlich,
δ Eridani,	»	4. 5^m	4,08	»
μ Cassiopeiae,		6^m	3,74	»
α Centauri,		1^m	3,58	»
α Bootis,		1^m	2,25	»

Nach 3000 Jahren werden ungefähr 20 Sterne sich um mehr als 1^0 von ihrer gegenwärtigen Stelle entfernt haben.

98 **Jährliche Parallaxe der Fixsterne.** Wenn die Lehre des Copernicus richtig ist, daß die Erde gleich den anderen Planeten die Sonne umkreise und daß die scheinbare Bewegung der Sonne am Himmelsgewölbe nur eine Folge der wahren Bewegung der Erde sei, so müssen auch die Fixsterne eine von der Ortsveränderung der Erde herrührende scheinbare Bewegung zeigen und dadurch ihre gegenseitigen Stellungen ändern. Diese scheinbaren Bewegungen der Fixsterne aber, welche ihrer Entstehung nach an eine jährliche Periode gebunden sein müssen, werden um so kleiner sein, je weiter die Fixsterne von uns entfernt sind.

Fig. 144.



Untersuchen wir nun zunächst, von welcher Art die scheinbare Bewegung der Fixsterne sein muß, welche durch die jährliche Bewegung der Erde erzeugt wird.

In Fig. 144 sei *s* ein Fixstern, *abcd* die Erdbahn. Wenn sich die Erde gerade in *a* befindet, so sehen wir den Stern in *a'* an das Himmelsgewölbe projicirt; wenn die Erde nach *b, c, d* gelangt ist, so sind *b', c', d'* die Orte des Himmelsgewölbes, auf welche uns der Stern *s* projicirt erscheint.

Im Laufe eines Jahres beschreibt also der Fixstern in Folge der jährlichen Wanderung der Erde um die Sonne am Himmelsgewölbe scheinbar eine Ellipse *a' b' c' d'*, welche der Erdbahn, wie sie vom Stern *s* aus gesehen erscheint, vollkommen gleich ist.

Der Fixstern erreicht den nördlichsten Punkt seiner scheinbaren Bahn zur Zeit des Sommersolstitiums, den südlichsten zur Zeit des Wintersolstitiums. Zur Zeit des Frühlingsäquinoctiums zeigt der Stern seine größte östliche, zur Zeit des Herbstäquinoctiums seine größte westliche Abweichung von dem mittleren Orte *m*, an welchem wir den Stern sehen würden, wenn wir uns auf der Sonne befänden.

Von einem Fixstern aus gesehen, erscheint die Erdbahn stets als eine Ellipse, welche um so mehr von der Kreisgestalt abweicht, je kleiner der Winkel ist, welchen eine von dem Fixstern zur Sonne gezogene Linie mit der Ebene der Erdbahn macht. Ist dieser Winkel ein rechter, steht also der fragliche Stern im Pol der Ekliptik, so wird die scheinbare Bahn, welche er im Laufe eines Jahres beschreibt, ein Kreis sein. Für jeden anderen Stern ist die scheinbare jährliche Bahn eine Ellipse, deren große Axe parallel mit der Ekliptik ist, und diese große Axe bleibt bei gleicher Entfernung des Fixsterns unverändert, wie weit er sich auch der Ebene der Ekliptik nähern mag, während die kleine Axe der Ellipse von dem Winkel abhängt, welchen die von dem Stern zur Sonne gezogene Linie mit der Ekliptik macht. Diese kleine Axe wird Null für alle Fixsterne, welche in der Ebene der Ekliptik selbst liegen.

Die große Axe der eben besprochenen Ellipse nennt man die **jährliche Parallaxe** des Fixsterns. Es ist klar, daß die jährliche Parallaxe von der Entfernung der Gestirne abhängt, daß sie größer sein muß für die näheren, kleiner für die entfernteren Fixsterne. Betrüge die jährliche Parallaxe eines Fixsterns

1°, so wäre seine Entfernung	=	57	Halbmessern der Erdbahn,			
1′ » » »	=	3438	»	»	»	
1″ » » »	=	206265	»	»	»	

Als **Copernicus** mit seinem neuen Weltsystem auftrat, hatte man noch keine Spur einer jährlichen Parallaxe an Fixsternen wahrgenommen; ihre gegenseitige Stellung galt für absolut unveränderlich, und die Anhänger des alten Systems verfehlten nicht, diesen Umstand gegen **Copernicus** geltend zu machen, welcher diesen Einwürfen weiter nichts entgegensetzen konnte, als daß die Entfernung der Fixsterne so groß sei, daß die jährliche Parallaxe einen für den damals erreichbaren Grad der Genauigkeit astronomischer Messungen verschwindend kleinen Werth habe.

Von nun an war das eifrige Bestreben der Astronomen darauf gerichtet, die Genauigkeit der Beobachtung möglichst zu steigern, um die jährliche Parallaxe einzelner Fixsterne zu ermitteln und dadurch nicht allein die Richtigkeit des **Copernicanischen** Systems zu beweisen, sondern auch die Entfernung dieser Fixsterne zu bestimmen.

Größe der jährlichen Parallaxe und Entfernung der Fixsterne. 99 **Tycho de Brahe** vervollkommnete die astronomischen Beobachtungsmethoden so weit, daß die von ihm gemachten Ortsbestimmungen der Fixsterne bis auf 1′ genau sind, und doch war aus **Tycho's** Beobachtungen noch keine Parallaxe der Fixsterne nachzuweisen.

Der nächste Schritt in der Entwickelung astronomischer Messungen wurde nun durch die Combination von Kreistheilungen mit einem Fernrohr gemacht, welches mit einem Fadenkreuz versehen ist. Dadurch erreichten die Beobachtungen von **Flamsteed** und **Römer** eine Genauigkeit, bei welcher die Fehlergränze auf $^1/_6$ derjenigen reducirt wurde, welche bei den **Tychonischen** Beobachtungen noch vorkommen konnte.

In der That beobachtete nun Flamsteed Ortsveränderungen der Fixsterne, welche aber dem Gesetze der parallactischen Bewegung nicht entsprachen, also von einer anderen Ursache als der jährlichen Parallaxe herrühren mußten.

Zunächst nahm dann Hooke (1669) diesen Gegenstand wieder auf. Um die geringsten Ortsveränderungen eines Fixsternes beobachten und messen zu können, stellte er ein mit einer Kreistheilung versehenes Fernrohr so auf, daß es nahezu nach dem Zenith gerichtet war und nur eine unbedeutende Drehung in der Meridianebene zuließ. Mit einer solchen Vorrichtung, deren Aufstellung unverändert blieb und welche zu keinem anderen Zwecke benutzt wurde, konnte man natürlich die Zenithdistanzen von Fixsternen, welche bei ihrer Culmination nahe durch das Zenith gehen, sehr genau beobachten und die geringsten Veränderungen in der Zenithdistanz eines und desselben Sternes wahrnehmen. So zweckmäßig aber auch Hooke's Beobachtungsmethode war, so gelangte er damit doch zu keinem Resultate.

Im Jahre 1725 nahm Molyneux die Hooke'sche Beobachtungsmethode mit ganz vortrefflichen Instrumenten wieder auf, mit welchen die Zenithdistanz eines Sternes bis auf 1″ genau bestimmt werden konnte. Zunächst wurde der Stern γ im Kopfe des Drachen zum Gegenstande einer genauen Untersuchung gewählt.

Die Beobachtung wurde zur Zeit des Wintersolstitiums begonnen, wo der Stern der Theorie zufolge den südlichsten Punkt seiner jährlichen Bahn erreicht haben mußte; statt aber nun stillzustehen und dann langsam nach Norden fortzuschreiten, ergab sich daß der Stern noch weiter nach Süden fortschritt, und erst ein Vierteljahr später die südlichste Gränze seiner Bahn erreichte. Jetzt stand γ draconis 20″ südlicher als im Anfange der Beobachtungen; nach einem halben Jahre war die Zenithdistanz wieder dieselbe wie im December, und im September befand sich der fragliche Stern 39″ nördlicher, als man ihn im März gefunden hatte.

Somit war eine bedeutende, an eine jährliche Periode gebundene Ortsveränderung des Sternes unwiderleglich nachgewiesen; allein es war nicht die gesuchte Parallaxe, sondern eine Folge der Aberration des Lichtes, welche im nächsten Buche besprochen werden soll. Durch die Aberration des Lichtes war nun, wie wir alsbald sehen werden, die Bewegung der Erde um die Sonne ebenso unwiderleglich dargethan, wie es durch die Nachweisung der Parallaxe hätte geschehen können; allein ohne die Größe der jährlichen Parallaxe selbst gemessen zu haben, blieb es doch unmöglich, die Entfernung der Fixsterne zu bestimmen.

Die Entdeckung der Aberration des Lichtes mußte der Nachweisung einer jährlichen Parallaxe nothwendig vorausgehen; denn aus den Beobachtungen läßt sich die Parallaxe erst dann nachweisen, wenn man sie von den Wirkungen der Aberration befreit.

Von der Ansicht ausgehend, daß die hellsten Fixsterne uns wohl auch die nächsten sein möchten, suchte Piazzi (1805) die Parallaxe der Wega, des Aldebaran, des Sirius und des Procyon zu ermitteln und glaubte auch eine solche aufgefunden zu haben; doch fehlt seinen Resultaten die nöthige Sicherheit, wahr-

scheinlich in Folge des zu häufigen Gebrauches, welchen Piazzi von seinen Instrumenten gemacht hat.

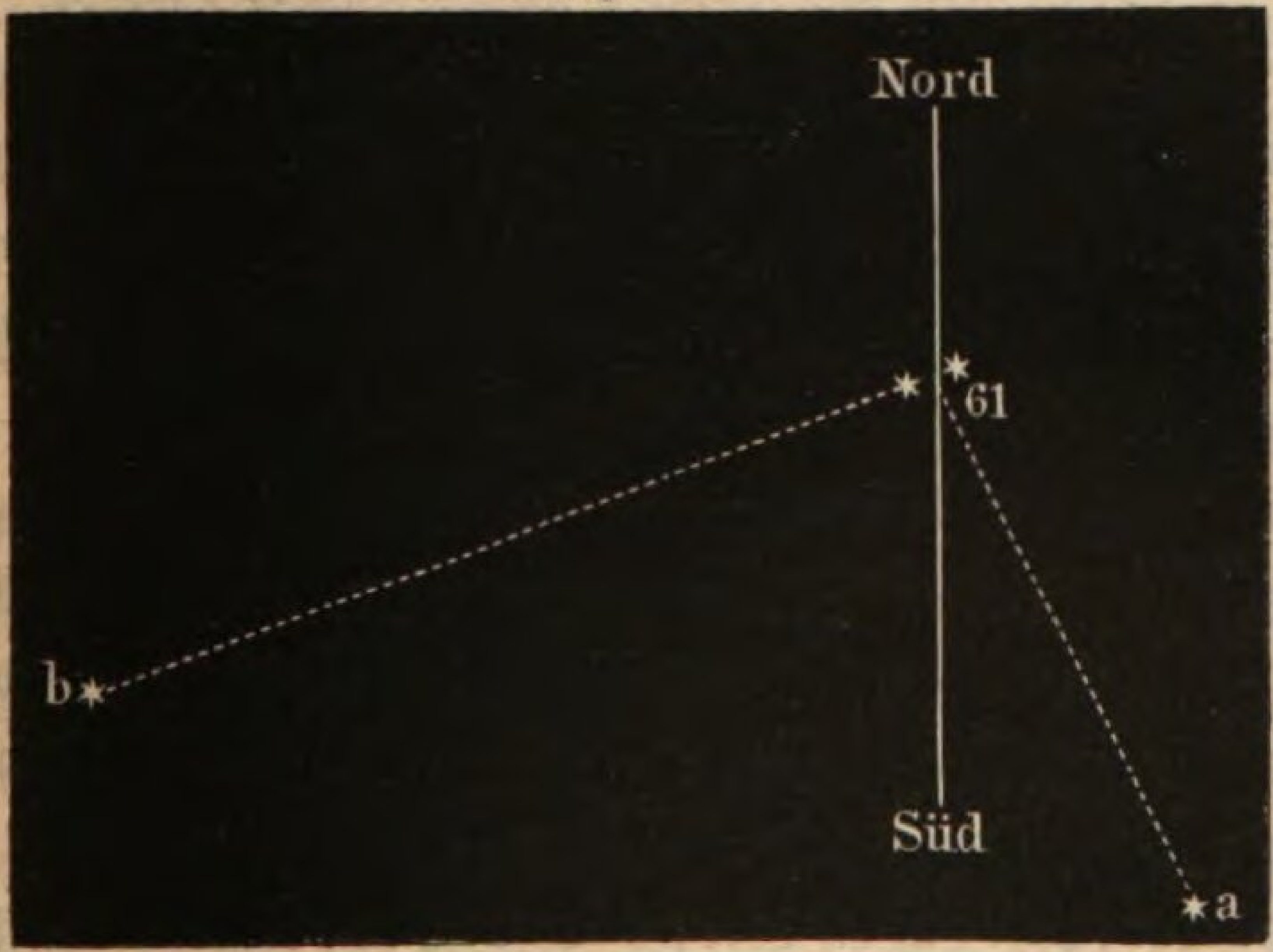
Im Jahre 1838 gelang es endlich Bessel, die Parallaxe des Doppelsterns 61 cygni, an welchem er bereits 1812 eine bedeutende eigene Bewegung nachgewiesen hatte, und von welchem sich eben deshalb vermuthen ließe daß er zu den uns näher liegenden Fixsternen gehöre, außer Zweifel zu setzen. Bei einem wahrscheinlichen Fehler von 0,02″ ist, nach Bessel's Messungen, die jährliche Parallaxe von 61 cygni gleich 0,37 Secunden.

Die Methode, durch welche Bessel zu diesem Resultat gelangte, ist von derjenigen abweichend, welche oben angedeutet wurde. Bei der Bestimmung der Zenithdistanz können zahlreiche Fehlerquellen die Genauigkeit des Resultates beeinträchtigen, z. B. nicht vollständig genaue Einstellung des Fernrohrs, Fehler im Ablesen des Nonius, Fehler in der Theilung selbst; ungleiche Erwärmung der einzelnen Theile des Instrumentes, wodurch Spannungen und Verschiebungen hervorgebracht werden. Dazu kommt noch, daß die Beobachtungsresultate in Beziehung auf Aberration, atmosphärische Refraction u. s. w. corrigirt werden müssen.

Die Methode, welche Bessel wählte, besteht darin, zu verschiedenen Zeiten des Jahres den Abstand des zu prüfenden Sternes von benachbarten Sternen zu messen, welche mit ihm gleichzeitig im Gesichtsfelde des Fernrohrs erscheinen. Hier sind nun die Einflüsse der Aberration und Refraction eliminirt, weil sie für beide Sterne so gut wie gleich sind, und ebenso fallen auch die übrigen oben angedeuteten Fehlerquellen weg. Man erhält auf diese Weise eigentlich nur die Differenz der jährlichen Parallaxe der beiden Sterne, deren Positionen man mit einander vergleicht, und nur wenn man die Parallaxe des einen als verschwindend klein annehmen kann, die jährliche Parallaxe des anderen.

Fig. 145 stellt die gegenseitige Stellung des Doppelsterns 61 cygni und zweier Sterne neunter bis zehnter Größe dar, mit deren Lage Bessel die des Doppelsternes verglich. *a* ist im Mittel nur 7′ 22″, *b* nur 11′46″ von dem Punkte entfernt, welcher in der Mitte der beiden Sterne 61 cygni liegt. Der Abstand dieser beiden Sterne ist in unserer Figur, der Deutlichkeit halber, doppelt so groß dargestellt, als es im Verhältniß der Entfernung der beiden Sterne *a* und *b* eigentlich sein sollte.

Fig. 145.



Bessel hat seine Beobachtungen am 16. August 1837 angefangen und bis zum 2. October 1838 fortgesetzt. In dieser Zeit sind 85 Vergleichungen des Sternes 61 d. h. des Punktes, welcher in der Mitte zwischen beiden Stern-

chen liegt, mit dem Sterne *a* und 98 mit dem Sterne *b* gelungen. Jede derselben ist das mittlere Resultat mehrerer, gewöhnlich 16 in derselben Nacht gemachter Wiederholungen der Messung.

Aus diesen Messungen hat sich nun in der That herausgestellt, daß, auf den Stern *a* bezogen, 61 cygni im Laufe eines Jahres eine Ellipse beschreibt, deren halbe große Axe 0,37″ ist, und daß, ganz wie es die Parallaxe fordert, die Entfernung zwischen *a* und 61 cygni zu Anfange des Jahres am kleinsten, in der Mitte am größten ist. Betrachtet man nun die Parallaxe von *a* als 0, so ist demnach die jährliche Parallaxe von 61 cygni gleich 0,37″, wie bereits oben angeführt wurde.

Durch die Vergleichung unseres Doppelsternes mit *b* ergab sich die Differenz der Parallaxe beider Sterne gleich 0,26″, woraus denn hervorgeht, daß höchst wahrscheinlich *b* selbst eine merkliche Parallaxe hat.

Nach Peters hat man bereits für 33 Sterne die jährlichen Parallaxen bestimmt; sie ist am größten für diejenigen fünf Sterne, welche sich in der folgenden kleinen Tabelle verzeichnet finden.

Fixsterne.	Parallaxe.	Entfernung.
α Centauri	0,91″	220 000 Erdweiten.
61 cygni	0,37	550 000 »
Sirius	0,23	890 000 »
α lyrae	0,21	970 000 »
Arcturus	0,13	1 600 000 »

Der schöne Doppelstern α Centauri, nach dem Sirius der hellste Stern des Firmamentes, aber bei uns nicht sichtbar, ist demnach unter allen Fixsternen unserem Sonnensystem am nächsten. Seine Parallaxe ist durch die von Henderson im Jahre 1832 und von Maclear im Jahre 1839 am Cap der guten Hoffnung angestellten Beobachtungen bestimmt worden.

100 **Doppelsterne.** Als man dahin gekommen war, das Auge für den Anblick des Himmels durch Fernrohre zu schärfen, bemerkte man bald, daß an mehreren Stellen, wo das freie Auge nur einen einfachen Stern wahrgenommen hatte, zwei oder manchmal noch mehr Sterne neben einander standen. Man nannte solche durch Fernrohre trennbare Punkte Doppelsterne.

Bis zum Jahre 1783 hatte W. Herschel bereits 450 Doppelsterne beobachtet, deren Distanz kleiner war als 32″.

Anfangs war Herschel der Ansicht, daß das nahe Zusammenstehen solcher Sterne nur zufällig sei; als aber die Anzahl der beobachteten Doppelsterne immer mehr zunahm, wurde es höchst unwahrscheinlich, daß diese Doppelsterne, von

unserem Standpunkte aus gesehen, nur eben zufällig nahe bei einander zu stehen schienen, und er gelangte nun zu der Ueberzeugung, daß die Mehrzahl der Doppelsterne in der That nicht bloß optisch einander nahe, sondern daß sie auch physisch in näherer Beziehung zu einander stehen.

Die fortgesetzte genaue Beobachtung der Doppelsterne durch mehrere ausgezeichnete Astronomen, namentlich durch Struve in Dorpat, hat nun diese Ansicht über allen Zweifel erhoben.

Struve hat bereits 2641 Doppelsterne verzeichnet, unter denen sich 113 dreifache, 9 vierfache und 2 fünffache befinden.

Gewöhnlich ist einer der beiden Sterne viel kleiner als der andere, z. B. beim Polarsterne, wo der eine ein Stern zweiter, der andere elfter Größe ist. Bei anderen Doppelsternen dagegen sind beide einander an Größe mehr gleich, wie z. B. bei γ arietis, wo beide Sterne fünfter Größe sind. Castor besteht aus einem Stern dritter und einem Stern vierter Größe. Der Doppelstern γ leonis wird durch einem Stern zweiter und einen dritter Größe gebildet; γ virginis besteht aus zwei Sternen dritter Größe u. s. w.

Die Doppelsterne sind ein treffliches Prüfungsmittel für Fernrohre.

Den Stern Mizar im Schwanz des großen Bären, kann ein scharfes Auge bei sehr reiner Luft schon ohne alle Bewaffnung als einen doppelten erkennen; um den Doppelstern γ Andromedae aufzulösen, ist schon ein gutes zweifüßiges Fernrohr von 50- bis 70facher Vergrößerung nöthig. Ein vierfüßiges Fernrohr von 100- bis 120facher Vergrößerung löst Castor und den Polarstern auf. Um aber die beiden Sterne von γ virginis und β Orionis getrennt zu sehen, muß man schon sehr gute Instrumente in Anwendung bringen.

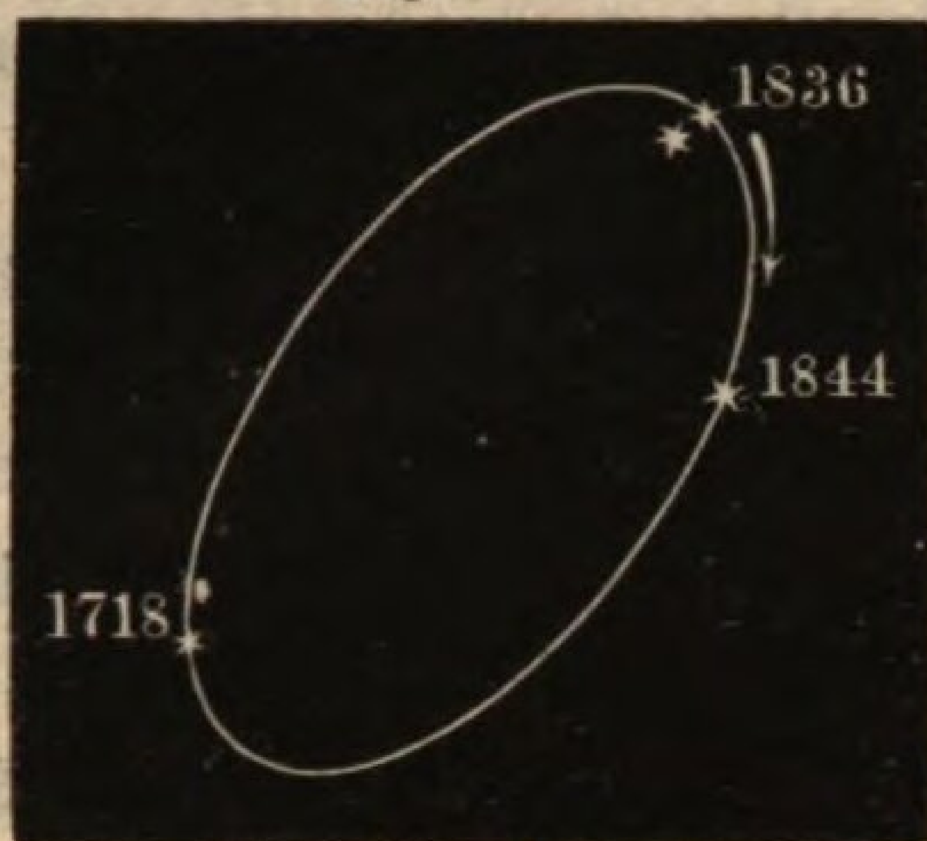
Wenn die Doppelsterne wirklich physische Doppelsterne sind, so werden sie auch eine gegenseitige Wirkung aufeinander ausüben, sie werden ein System bilden und um einen gemeinschaftlichen Schwerpunkt kreisen; die Folge einer solchen Bewegung wird aber die sein, daß nicht allein die Richtungslinie, welche die beiden Sterne verbindet, ihre Lage am Himmel ändert, sondern daß auch die scheinbare Entfernung derselben variirt. Bei vielen Doppelsternen hat man nun eine solche Stellungsveränderung mit voller Gewißheit nachgewiesen.

Castor wurde seit 1729 als Doppelstern beobachtet, und seit jener Zeit hat der Begleiter bereits 100° in seiner scheinbaren Bahn um den Hauptstern zurückgelegt.

Bradley erkannte bereits im Jahre 1718 γ virginis als Doppelstern; damals betrug der Abstand der beiden Sterne 7″. Anfangs 1836 war ihre Entfernung so klein, daß sie wie ein einfacher Stern erschienen; seitdem ist aber ihr Abstand wieder gewachsen; dabei drehte sich die Richtungslinie, welche die beiden Sterne verbindet, von Südwest durch West, Nord u. s. w. seit der ersten Beobachtung um mehr als 300°. Nimmt man den einen als fest an, so ist die Bahn, welche der andere um ihn beschreibt, eine Ellipse, wie es Fig. 146 (a. f. S.) darstellt. Es sind in dieser Figur auch die Stellen bezeichnet, welche der bei der ersten Beobachtung südwestlich stehende Stern zu Anfang des Jahres 1836 und 1844 einnahm, wenn man den anderen zum Ausgangspunkte der Ortsbestimmung macht. Im Jahre 1838 war der Abstand der beiden Sterne bereits

wieder 1″. Da jetzt die Entfernung der beiden Sterne noch im Wachsen begriffen ist, so wird dieser Doppelstern auch wieder leichter aufzulösen sein, als zu Anfang der 40er Jahre. Die Umlaufszeit dieses Doppelsternes beträgt 169 Jahre; im Jahre 1875 wird also die gegenseitige Stellung dieselbe sein, wie zu Bradley's Zeit.

Fig. 146.



Folgende Tabelle enthält einige bereits bestimmte Umlaufszeiten von Doppelsternen:

ζ Herculis	. . . .	30 »
ξ ursae majoris	. . . . . .	61 Jahre
p Ophiuchi	. . . .	74 »
α Centauri	. . . .	77 »
γ virginis	. . . .	169 »
Castor	. . . .	153 »
σ coronae	. . . .	608 »

Die Bahnen der Doppelsterne würden uns dann in ihrer wahren Gestalt, also unverkürzt erscheinen, wenn die von ihnen zur Erde gezogene Linie rechtwinklig auf der Bahnebene stände; dies ist aber fast nie der Fall, und deshalb sehen wir die Doppelsternbahnen fast immer verkürzt. So zeigt Fig. 147 die scheinbare und die aus derselben abgeleitete wahre Bahn des Doppelsternes μ coronae, dessen Umlaufszeit 42,5 Jahre beträgt.

Fig. 147.



Die Zahl der Doppelsterne, deren Bahnelemente bis jetzt ermittelt worden sind, beträgt 16. An vielen anderen hat man zwar gegenseitige Verrückungen wahrgenommen, doch reichen die Beobachtungen nicht hin, um mit einiger Sicherheit Umlaufszeit und Gestalt der Bahn daraus abzuleiten. Bei anderen hat man endlich noch gar keine Stellungsänderung bemerkt, und diese sind wahrscheinlich nur optische, nicht physische Doppelsterne.

Eine genauere Untersuchung der Doppelsternbahnen zeigt, daß sie vollkommen den Kepler'schen Gesetzen entsprechen, daß also in den entferntesten Himmelsräumen, so weit unsere Blicke nur mit Hülfe der besten Fernrohre vorzudringen vermögen, die allgemeine Massenanziehung ganz in derselben Weise die Bewegungen der Himmelskörper beherrscht, wie dies in unserem Planetensystem der Fall ist. Das Gesetz der allgemeinen Schwere erstreckt sich über die ganze Schöpfung.

Ohne Zweifel sind alle Fixsterne selbst leuchtende Weltkörper, wie unsere Sonne, und um sie kreisen wohl Planeten, welche von ihnen Licht und Wärme empfangen, wie wir von der Sonne. Auch die Doppelsterne bilden solche Systeme, welche sich aber von unserem Planetensysteme, in welchem sich nur ein

Centralkörper von weitaus überwiegender Masse befindet, dadurch unterscheiden, daß sie zwei Sonnen enthalten, welche selbst um einen gemeinschaftlichen Schwerpunkt kreisen.

Die dunklen Planeten jener Fixsternsysteme werden wohl für immer der menschlichen Beobachtung entgehen.

**Fortschreiten unseres ganzen Planetensystemes im Welt- 101
raume.** Die eigenen Bewegungen der Fixsterne, welche im ersten Paragraphen dieses Capitels besprochen wurden, finden nach den verschiedensten Richtungen Statt, aber doch zeigt sich, daß die Bewegung nach einer bestimmten Richtung hin entschieden vorherrschend ist, so daß sich die meisten Fixsterne, an denen man eine solche fortschreitende Bewegung wahrgenommen hat, scheinbar einem bestimmten Punkte des Himmels nähern; am wahrscheinlichsten ist es nun, daß diese den verschiedenen Fixsternen gemeinsame Bewegung von einer in entgegengesetzter Richtung stattfindenden Bewegung unserer Sonne herrührt. Nach W. Herschel's Bestimmungen liegt der Punkt, gegen welchen sich unsere Sonne sammt allen sie umkreisenden Planeten und Kometen hinbewegt, nahe beim Sternbild des Hercules (260° 44′ Rectascension, 26° 16′ nördliche. Declination), womit die Bestimmungen von Argelander, Gauß und Struve nahezu übereinstimmen. Galloway versuchte es, den Punkt des Himmels, gegen welchen sich unser Sonnensystem hinbewegt, nur aus der eigenen Bewegung von Fixsternen der südlichen Hemisphäre abzuleiten, und gelangte ebenfalls zu einem Resultate, welches sehr nahe mit dem aus nördlichen Sternen berechneten übereinstimmt (260° Rectascension, 34° 23′ nördliche Declination).

Nun ist es aber nicht wahrscheinlich, daß die fortschreitende Bewegung unseres Planetensystemes im Weltraume eine geradlinige ist, vielmehr ist wohl die innerhalb mäßiger Gränzen bestimmte Richtung dieser Bewegung nur die Tangente seiner Bahn.

Nehmen wir nun an, daß unser Sonnensystem mit allen verschieden entfernten Fixsternen um einen gemeinschaftlichen Schwerpunkt rotire, so ist klar, daß der Mittelpunkt dieser Kreisbewegungen 90° von dem Punkte entfernt liegen müsse, gegen welchen sich unser Sonnensystem hinbewegt. Mädler sucht den fraglichen Schwerpunkt in der Plejadengruppe, und zwar nahe bei Alcyone, dem hellsten Sterne derselben.

Die Ansicht, welche man wohl früher hegte, daß unsere Sonne sammt allen ihren Planeten und Kometen selbst wieder um einen selbstleuchtenden oder dunklen Centralkörper rotire, wie Jupiter und Saturn sammt ihren Trabanten um die Sonne, gehört nur in das Reich der mythischen Hypothesen.

Sternschnuppen von mehreren übereinstimmender [illegible] Wahrscheinlichkeit. Darauf unterscheiden, daß sie aus der Sonne abstammen, welche selbst aus einem [illegible] Schwerpunkt fortbewegt [illegible].

Die dunklen Planeten [illegible] Nachbarsterne [illegible] wirklichen Beobachtung entziehen.

101 Fortschreiten unseres ganzen Planetensystems im Weltraume. Die eigenen Bewegungen der Fixsterne, welche [illegible] scheinbar [illegible] Sterne, [illegible] nach [illegible] Stelle, aber doch zeigt sich, daß die Bewegung nach [illegible] den entfernteren vorherrschend ist, so daß sich, je weiter [illegible], um desto mehr eine solche fortschreitende Bewegung wahrgenommen hat, scheinbar einem bestimmten Punkte des Himmels nähern; [illegible] ist es nun, daß diese den verschiedenen Fixsternen gemeinsame Bewegung von einer in entgegengesetzter Richtung fortschreitenden Bewegung unserer Sonne herrührt. Nach W. Herschel's Bestimmungen liegt der Punkt, gegen welchen sich unsere Sonne sammt allen ihr umkreisenden Planeten und Kometen hinbewegt, nahe beim Sternbild des Herkules (260° 44' Rektaszension, 26° 15' nördliche Deklination), womit die Bestimmungen von Argelander, Gauß und Struve nahezu übereinstimmen. [illegible] verlegt es [illegible] Punkt des [illegible], gegen welchen sich unser Sonnensystem hinbewegt, nur aus der eigenen Bewegung von [illegible] der südlichen Hemisphäre abgeleitet, und gelangt ebenfalls zu einem Resultate, welches sehr nahe mit dem aus nördlichen Sternen erhaltenen übereinstimmt (260° Rektaszension, 34° 23' nördliche Deklination).

Nun ist es aber nicht wahrscheinlich, daß die fortschreitende Bewegung unseres Planetensystems im Weltraume eine geradlinige [illegible] innerhalb [illegible] bestimmte Richtung [illegible] seine [illegible] Bahn.

Nehmen wir nun an, daß unser Sonnensystem mit anderen Sternen um einen gemeinschaftlichen Schwerpunkt [illegible], so [illegible] der Mittelpunkt dieser [illegible] 90° von dem Punkte entfernt liegen müsse, gegen welchen sich unser Sonnensystem hinbewegt. Mädler sucht den [illegible] Schwerpunkt in der Plejadengruppe, und zwar nahe bei Alcyone, dem hellsten Sterne derselben.

Die Ansicht, welche man wohl früher hegte, daß unsere Sonne sammt allen ihren Planeten und Kometen selbst wieder um einen [illegible] Centralkörper [illegible], wie Jupiter und Saturn sammt ihren Trabanten um die Sonne, gehört nun in das Reich der unhaltbaren Hypothesen.

Zweites Buch.

Kosmische und atmosphärische Lichterscheinungen.

Erstes Capitel.

Das Licht der Himmelskörper und seine Verbreitung im Weltraume.

Photometrische Vergleichung der Fixsterne. Die Fixsterne werden, 102
wie bereits im ersten Capitel des ersten Buches angeführt wurde, in verschiedene Größenclassen eingetheilt. Da nun die Fixsterne selbst bei der stärksten Vergrößerung keinen wirklichen, meßbaren Durchmesser zeigen, da also von einer Größe eigentlich bei ihnen keine Rede sein kann, so bezieht sich jene Eintheilung nicht sowohl auf die Größe als vielmehr auf den Glanz der Fixsterne.

Die Eintheilung in Sterne erster, zweiter, dritter u. s. w. Größe ist übrigens eine ganz willkürliche und conventionelle; es liegen ihr durchaus keine vergleichenden Messungen der Lichtstärke der Fixsterne zu Grunde. Der Erste, welcher eine solche Vergleichung versuchte, war der ältere Herschel, welcher folgende Methode in Anwendung brachte:

Zwei siebenfüßige, vollkommen gleiche Teleskope, welche also denselben Stern mit gleicher Helligkeit zeigten, wurden so neben einander gestellt, daß der Beobachter sich ungefähr in einer Secunde von dem Ocular des einen an das des anderen begeben konnte. Vor dasjenige Fernrohr nun, welches auf den helleren Stern gerichtet war, wurden Schirme vorgeschoben, welche der Reihe nach immer kleinere und kleinere centrale kreisförmige Oeffnungen hatten, bis man endlich bei einer Größe der Oeffnung ankam, durch welche der hellere Stern gerade eben so erschien wie der andere durch das zweite Teleskop, dessen Oeffnung ganz frei war.

War z. B. das eine Fernrohr auf den Arcturus (α Bootis), das zweite auf γ des großen Bären gerichtet, so zeigten sich beide Sterne gleich hell, wenn vor das erste Fernrohr ein Schirm gesetzt war, dessen Oeffnung einen viermal kleineren Flächeninhalt hatte als die freie Oeffnung des zweiten Fernrohrs, und daraus geht hervor, daß uns α Bootis viermal so viel Licht zusendet als γ ursae majoris.

Durch solche Messungen hat sich nun ergeben, daß im Durchschnitt die Lichtintensität der Sterne zweiter, dritter u. s. w. Größe viermal, neunmal u. s. w. geringer ist als die Lichtstärke der Sterne erster Größe.

Da das Licht im Verhältniß des Quadrats der Entfernung geschwächt wird, so würde Arcturus in der doppelten, dreifachen, vierfachen Entfernung noch als ein Stern zweiter, dritter und vierter Größe erscheinen.

Die eben besprochene Methode, die Lichtstärke verschiedener Sterne zu vergleichen, leidet besonders an dem Uebelstande, daß man die beiden Sterne nicht gleichzeitig neben einander sieht. Diesem Uebelstande hat man auf verschiedene Weise durch Spiegelvorrichtungen abzuhelfen gesucht; trotz aller Verbesserungen aber lassen diese photometrischen Methoden noch viel zu wünschen übrig.

Die neuesten photometrischen Vergleichungen von Fixsternen hat im Jahre 1846 Seidel nach einer von Steinheil herrührenden Methode angestellt. Nimmt man die Helligkeit der Wega zur Einheit, so ist nach diesen Messungen Folgendes die Lichtstärke der bei uns hinlänglich deutlich erscheinenden Sterne erster Größe:

Sirius	= 5,13	Spica	= 0,49
Rigel	1,30	Altair	0,40
Wega	1,00	Aldebaran	0,36
Arcturus	0,84	Deneb	0,35
Capella	0,83	Regulus	0,34
Procyon	0,71	Pollux	0,30

α Orionis fehlt hier, weil er veränderlich ist.

Da ein Stern sechster Größe ungefähr 36mal lichtschwächer ist als Wega, so würden also erst 180 Sterne sechster Größe zusammen die Helligkeit des Sirius erzeugen.

Durch Vergleichung der Wega mit Mars und Jupiter fand Seidel die Lichtstärke dieser beiden Planeten zur Zeit der Opposition gleich 6,8 und 8,5.

Wollaston verglich sowohl den durch Sonnenlicht als auch den durch Mondlicht bewirkten Schatten mit dem Schatten eines Kerzenlichtes, und fand so, daß die Sonne 800000mal lichtstärker sei als der Vollmond. Durch Vergleichung der von einer Glaskugel reflectirten Bilder des Mondes und des Sirius ergab sich ferner, daß uns der Mond 2500mal heller leuchtet als Sirius, und demnach wäre die Helligkeit des Sirius 2000 Millionen mal schwächer als die der Sonne. Nimmt man nun die jährliche Parallaxe des Sirius gleich 0,23″ an, so überträfe also die absolute Lichtstärke des Sirius die der Sonne 63mal.

Wenn also unsere Sonne in derselben Entfernung von uns sich befände, wie Sirius, so würde sie 63mal lichtschwächer sein als dieser, 12mal lichtschwächer als Wega; sie würde uns also lichtschwächer erscheinen als ein Stern dritter Größe.

103 **Veränderliche Sterne.** Der erste Stern, an welchem ein regelmäßiger Wechsel der Lichtstärke beobachtet wurde, ist o Ceti. David Fabricius hatte ihn am 13. August 1596 als einen Stern dritter Größe beobachtet und im

October desselben Jahres verschwinden sehen; die periodische Veränderlichkeit dieses Sternes entdeckte aber Holwarde, Professor zu Franeker, im Jahre 1639.

Der fragliche Stern, welcher dieser merkwürdigen Erscheinung wegen auch Mira Ceti genannt wurde, erreicht manchmal den Glanz eines Sternes zweiter Größe; seine Helligkeit nimmt aber dann wieder so ab, daß er für das bloße Auge vollständig verschwindet. Mit Fernrohren ist er zur Zeit seines Lichtminimums schon als ein Stern elfter bis zwölfter Größe beobachtet worden, so daß es nicht ganz ausgemacht ist, ob er immer ganz verschwindet. Das Maximum seines Lichtglanzes erreicht ebenfalls nicht immer dieselbe Größe; während er manchmal, wie bereits bemerkt wurde, die Helligkeit eines Sternes zweiter Größe erreicht, wird er oft auch zur Zeit seines Maximums nur noch einem Stern vierter Größe gleich.

Die Periode, in welcher Mira Ceti den ganzen Cyclus der erwähnten Veränderungen durchläuft, dauert 331 Tage 20 Stunden. Im Mittel dauert die Zeit der Lichtzunahme von der sechsten Größe bis zum Maximum 50 Tage, die der Lichtabnahme vom Maximum bis zur sechsten Größe 69 Tage, so daß der Stern ungefähr 4 Monate mit bloßen Augen sichtbar bleibt. Zuweilen hat diese Sichtbarkeit sich auf 5 Monate gesteigert, während sie zu anderen Zeiten nur 3 Monate gewesen ist. Ebenso ist auch die Dauer der Zu- und Abnahme des Lichtes großen Schwankungen unterworfen.

Im Jahre 1669 erkannte Montanari die Veränderlichkeit des Sternes β Persei (Algol am Medusenhaupte), der unter allen veränderlichen Sternen die kürzeste Periode zeigt; denn diese beträgt nur 2 Tage 20 Minuten 49 Secunden. Zur Zeit des Maximums ist Algol einem Sterne zweiter, zur Zeit des Minimums nur noch einem Sterne vierter Größe gleich.

Bis jetzt hat man 24 Sterne als periodisch veränderlich erkannt. Die folgende kleine Tabelle veränderlicher Sterne ist ein Auszug aus der von Argelander entworfenen, welche Humboldt im dritten Bande des Kosmos S. 243 mittheilt.

Bezeichnung des Sternes.	Dauer der Periode.			Helligkeit im	
				Maximum.	Minimum.
	Tage.	Stunden.	Minuten.	Größe.	Größe.
o Ceti	331	20	—	4 bis 2,1	0
β Persei	2	20	49	2,3	4
χ cygni	406	1	30	6,7 » 4	0
η aquilae	7	4	14	3,4	5,4
β lyrae	12	21	45	3,4	4,5
α Herculis	66	8	—	3	3,4
α Cassiopeiae . . .	79	3	—	2	3,2
α Orionis	196	0	—	1	1,2

Die Zwischenstufen zwischen erster und zweiter, zweiter und dritter Größe u. s. w. sind in dieser Tabelle durch Decimalbrüche bezeichnet.

104 **Temporäre Sterne.** Manchmal erscheinen plötzlich neue Sterne am Himmel, welche kurze Zeit glänzen, um alsbald wieder zu verschwinden. So erschien im Jahre 389 ein neuer Stern nahe bei α aquilae, welcher mit der Helligkeit der Venus aufloderte und nach drei Wochen spurlos verschwand.

In der ersten Hälfte des neunten Jahrhunderts beobachteten die arabischen Astronomen einen neuen Stern im Scorpion, »dessen Licht dem des Mondes in seinen Vierteln« geglichen haben soll, und welcher schon nach 4 Monaten wieder verschwand.

Der merkwürdigste unter den temporären Sternen ist der von 1572, welchen auch Tycho de Brahe beobachtete. Er erschien am 11. November 1572 im Sternbilde der Cassiopea; alsbald glänzend wie Sirius, nahm die Lichtstärke des neuen Sternes noch zu, bis er selbst den Jupiter an Helligkeit übertraf und selbst am Tage gesehen werden konnte. Im December 1572 begann sein Glanz abzunehmen und verschwand endlich im März 1574, 16 Monate nach seinem ersten Erscheinen. Anfangs blendend weiß, wurde er im März 1573 röthlich und im Januar 1574 wieder weiß.

Ein böhmischer Astronom, Cyprianus Leovitius, versichert, in einer handschriftlichen Chronik die Nachricht gefunden haben, daß im Jahre 945 sowohl als auch im Jahre 1264 zwischen den Constellationen des Cepheus und der Cassiopea ganz nahe der Milchstraße ein glänzender Stern erschienen sei; darauf gründet sich nun die Ansicht einiger Astronomen, daß der schöne Stern ein periodischer sei und daß seine Periode 313 Jahre betrage. Wenn diese Ansicht richtig ist, so müßte der fragliche Stern im Jahre 1885 wieder erscheinen.

Im Jahre 1604 erschien ein neuer Stern im Ophiuchus, welcher die Helligkeit des Jupiter erreichte, aber dem Sterne von 1572 nicht ganz gleich kam und auch nicht bei Tage gesehen werden konnte. Dieser Stern wurde besonders von Kepler beobachtet. Er erschien im October 1604. Zu Anfang des Januar 1605 war er noch heller als Antares, aber weniger hell als Arcturus; im März dieses Jahres war er nur noch dritter Größe. Vier Monate lang konnte er wegen der Nähe der Sonne nicht beobachtet werden. Im März 1606 verschwand er spurlos.

Im Jahre 1848 beobachtete Hind einen neuen Stern fünfter Größe gleichfalls im Ophiuchus. Nach Lichtenberger's Beobachtungen war er im Jahre 1850 nur noch elfter Größe und wahrscheinlich dem Verschwinden nahe.

Die temporären Sterne gehören zu den seltenen Erscheinungen; denn in den letzten 2000 Jahren können deren kaum 20 bis 22 mit einiger Sicherheit aufgeführt werden.

105 **Farbige Sterne.** Ptolemäus führt in seinem Fixsternkataloge sechs röthliche Sterne an, nämlich Arcturus, Aldebaran, Pollux, Antares, Beteigeuze und Sirius. Von diesen haben fünf noch jetzt ein röthliches Licht, während Sirius gegenwärtig vollkommen weiß ist.

Entschieden weiß sind, außer Sirius, unter den helleren Sternen gegenwärtig Wega, Deneb, Regulus und Spica. Gelbliches Licht haben Procyon, Atair, der Polarstern und besonders β ursae minoris. Bläulich ist η lyrae.

Auch unter den Doppelsternen findet man viele farbige, und zwar sind bald die beiden Sterne gleichfarbig, bald haben sie verschiedene Farben.

So sind z. B. die beiden Sterne von γ virginis (3^m und 3^m) gelblich, von ϱ Herculis (4^m und 5^m) grünlich, von ζ ursae majoris (2^m und 4^m) mattgrün u. s. w.

Bei vielen anderen Doppelsternen zeigt sich dagegen eine merkliche Verschiedenheit der Farbe. So ist z. B. bei α ursae minoris der Hauptstern gelb, der Begleiter weiß; bei α piscium der größere (3^m) grünlich, der kleinere (4^m) blau; bei ζ Orionis der Hauptstern (2^m) roth, der Nebenstern (6^m) rothgelb; bei γ leonis ist der Hauptstern (2^m) goldgelb, der kleinere ($3{,}5^m$) röthlich; bei ε Bootis ist der Hauptstern (3^m) roth, der Begleiter (6^m) blau u. s. w.

Ein schöner dreifacher Stern ist γ Andromedae; der Hauptstern (3^m) ist goldgelb, die beiden kaum $^1/_2$ Secunde von einander entfernten Begleiter sind bläulich violett.

Ansehen der Sterne mit bloßem Auge und mit dem Fernrohre 106
betrachtet. Wenn man die Sterne mit unbewaffnetem Auge betrachtet, so erscheinen sie nicht als einfache helle Punkte, sondern sie erscheinen mit divergirenden Strahlen versehen, wodurch das Bild des Sterns eine ziemliche Ausdehnung erhält. Diese Strahlen sind es, welche verhindern, daß man neben Jupiter dessen Trabanten noch unterscheiden kann, welche groß und hell genug sind, um als isolirt stehende Sterne ohne Fernrohre sichtbar zu sein.

Dieser Umstand, daß das Bild der Sterne mit bloßem Auge betrachtet durch divergirende Strahlen vergrößert erscheint, hat ohne Zweifel seine Quelle im Auge des Beobachters; sphärische Aberration, Diffraction an den Rändern der Pupille oder an den Wimpern, die Ausbreitung des Lichteindrucks auf der Netzhaut von dem unmittelbar gereizten Punkte aus wirken hier zusammen, um die besprochene Erscheinung hervorzubringen. Daß dieselbe subjectiver Natur ist, geht daraus hervor, daß sie bei verschiedenen Personen oft sehr ungleich ist. In Folge der Sternstrahlung schrieben Kepler und Tycho dem Sirius einen Durchmesser von 4′ und 2′ 20″ zu.

Durch Fernrohre wird das Bild der Fixsterne weit reiner, aber immer bleibt ihnen selbst bei den besten Instrumenten ein falscher, facticer Durchmesser. Daß dieser Durchmesser nicht der wahre Winkeldurchmesser ist, unter welchem uns das Fernrohr den Stern zeigen sollte, geht daraus hervor, daß er bei wachsender Vergrößerung nicht zunimmt, wie der Durchmesser der Planeten. Wenn man einen Doppelstern durch Fernrohre betrachtet, so rücken die beiden Sterne um so weiter von einander weg, je stärker die angewandte Vergrößerung ist, während die Durchmesser der Sterne selbst bei wachsender Vergrößerung eher kleiner werden.

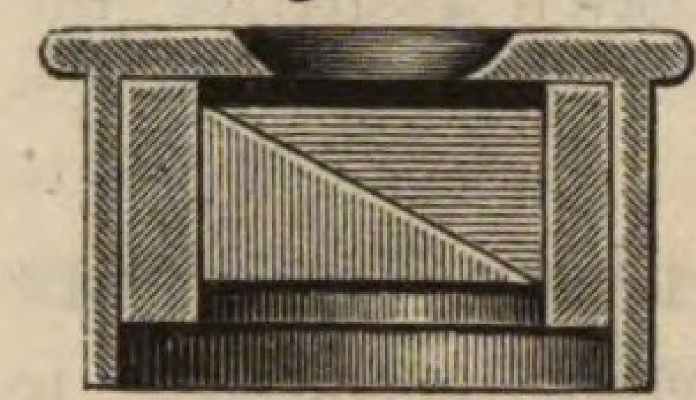
Bei gleicher Vergrößerung ist der falsche Durchmesser der Fixsterne, welchen die Fernrohre zeigen, um so kleiner, je größer der Durchmesser des Objectivs ist.

Daß durch Fernrohre Sterne sichtbar werden, welche man mit bloßem Auge nicht sehen kann, ist demnach nicht sowohl eine Folge der Vergrößerung, als

vielmehr des Umstandes, daß bei großer Oeffnung des Objectivs eine weit größere Menge von Lichtstrahlen von dem Sterne ins Auge gelangt, als ohne das Fernrohr durch die Pupillenöffnung eingedrungen sein würde. Die raumdurchdringende Kraft der Fernrohre, vermöge deren man gewissermaßen weiter in die Himmelsräume vordringen und Sterne erblicken kann, die ohne Fernrohr unsichtbar bleiben, ist also vorzugsweise durch die Größe der Objectivöffnung bedingt.

107 **Anwendung des Polariskops zur Prüfung des Lichtes der Gestirne.** Um zu prüfen, ob das Licht des im Jahre 1819 erschienenen Kometen polarisirt sei oder nicht, wandte Arago ein achromatisirtes Kalkspathprisma, Fig. 148, an. Wenn man einen Fixstern durch dasselbe betrachtet, so sind die beiden Bilder stets vollkommen gleich, wie man das Prisma auch um seine Axe drehen mag; ein Beweis also, daß das Licht der Fixsterne nicht polarisirt ist. Anders verhält sich das Kometenlicht. Das Prisma um seine Axe drehend, findet man bald eine Stellung, bei welcher das eine Bild hell, das andere dunkel ist, woraus sich ergiebt, daß das Licht der Kometen polarisirt, daß es also auch reflectirtes Licht ist.

Fig. 148.



Später verbesserte Arago die Vorrichtung dahin, daß er mit dem doppeltbrechenden Prisma ein dünnes Gypsblättchen verband, welches an der dem Auge abgewandten Seite des Prismas so befestigt wird, daß die Schwingungsebenen des Gypsblättchens einen Winkel von 45° mit den Schwingungsebenen des Prismas machen (Lehrbuch der Physik 4. Aufl. 1. Band §. 258). Schaut man nun durch das Prisma und das dünne Gypsblättchen nach einem Körper, welcher polarisirtes Licht aussendet, so erblickt man die beiden Bilder bei gehöriger Stellung des Prismas complementär gefärbt, also je nach der Dicke des Blättchens roth und grün oder blau und gelb u. s. w.

Das so verbesserte Instrument nennt Arago Polariskop.

Mit Hülfe des Polariskops überzeugte sich Arago im Jahre 1835, daß auch das Licht des Halley'schen Kometen polarisirt sei.

Wenn man glühende feste Körper, etwa eine glühende Eisenkugel, mit dem Polariskop untersucht, so findet man, daß sie an den Rändern Spuren von Polarisation zeigen, welche bei glühenden Gasen, also bei Kerzen- und Lampenflammen, vollkommen fehlen. Da nun die Sonne keine Spur von Polarisation des Lichtes zeigt, so folgt, daß man es hier nicht mit einem glühenden festen Körper zu thun habe, wodurch die bereits oben Seite 103 besprochenen Ansichten über die Photosphäre der Sonne ihre Bestätigung finden.

Wenn man den Vollmond mit dem Polariskop untersucht, so findet man keine Polarisation des Lichtes, was bei der Richtung, in welcher für diesen Fall das von der Sonne kommende Licht vom Monde reflectirt wird, nicht anders zu erwarten ist; wohl aber zeigt sich die Polarisation des Mondlichtes, wenn man die Untersuchung mit dem Polariskop zur Zeit des ersten oder letzten Viertels vornimmt.

Daß der Mond und die Planeten uns nur reflectirtes Sonnenlicht zusenden, geht vorzugsweise auch daraus hervor, daß das Licht des Mondes und der Planeten bei prismatischer Zerlegung die Fraunhofer'schen Linien gerade ebenso zeigt, wie das Sonnenlicht selbst, während die Gruppen der dunklen Linien im Spectrum des Sirius und anderer Fixsterne in ganz anderer Weise vertheilt sind.

Milchstraße, Nebelflecken und Sternhaufen. Wenn man bei vollkommen durchsichtiger Luft in einer mondfreien Nacht den Himmel betrachtet, so erblickt man auf dem schwarzblauen, mit Sternen übersäeten Hintergrunde einen zarten weißen Nebelstreifen, welcher bei unregelmäßiger Begränzung mit wechselnder Breite durch eine ganze Reihe von Sternbildern hindurchzieht. 108
Man kann seinen Lauf auf den Sternkarten Tab. III. und Tab. IV. verfolgen. Er zieht östlich vom Sirius vorüber, geht zwischen dem kleinen Hunde und Orion hindurch nach den Sternbildern des Perseus und der Cassiopea, läuft ferner durch die Sternbilder des Schwans, des Adlers, des Ophiuchus und des Scorpions, um endlich nach der Stelle wieder zurückzukehren, an welcher wir ihn zuerst betrachtet haben.

Dieser neblige Streifen, welcher den Namen der Milchstraße führt, bildet also einen zusammenhängenden Ring, welcher das ganze Himmelsgewölbe in zwei nicht ganz gleiche Theile scheidet. Vom Schwan bis über den Schwanz des Scorpions hinaus theilt sich die Milchstraße in zwei neben einander herlaufende Streifen, welche einen dunklen nebelfreien Raum inselartig einschließen.

Außer dieser in günstigen Nächten leicht aufzufindenden und zu verfolgenden Milchstraße zeigt sich aber am Himmelsgewölbe noch eine große Anzahl kleiner nebliger Flecken, von denen aber nur wenige, wie z. B. der Nebelfleck in der Andromeda, durch sehr gute Augen ohne Fernrohr wahrgenommen werden können, weshalb sie denn auch im Alterthume der Beobachtung ganz entgingen.

Simon Marius entdeckte im Jahre 1612 den ersten Nebelfleck, nämlich den nahe bei dem Sterne ν der Andromeda stehenden, welcher Fig. 149 abge-

Fig. 149.

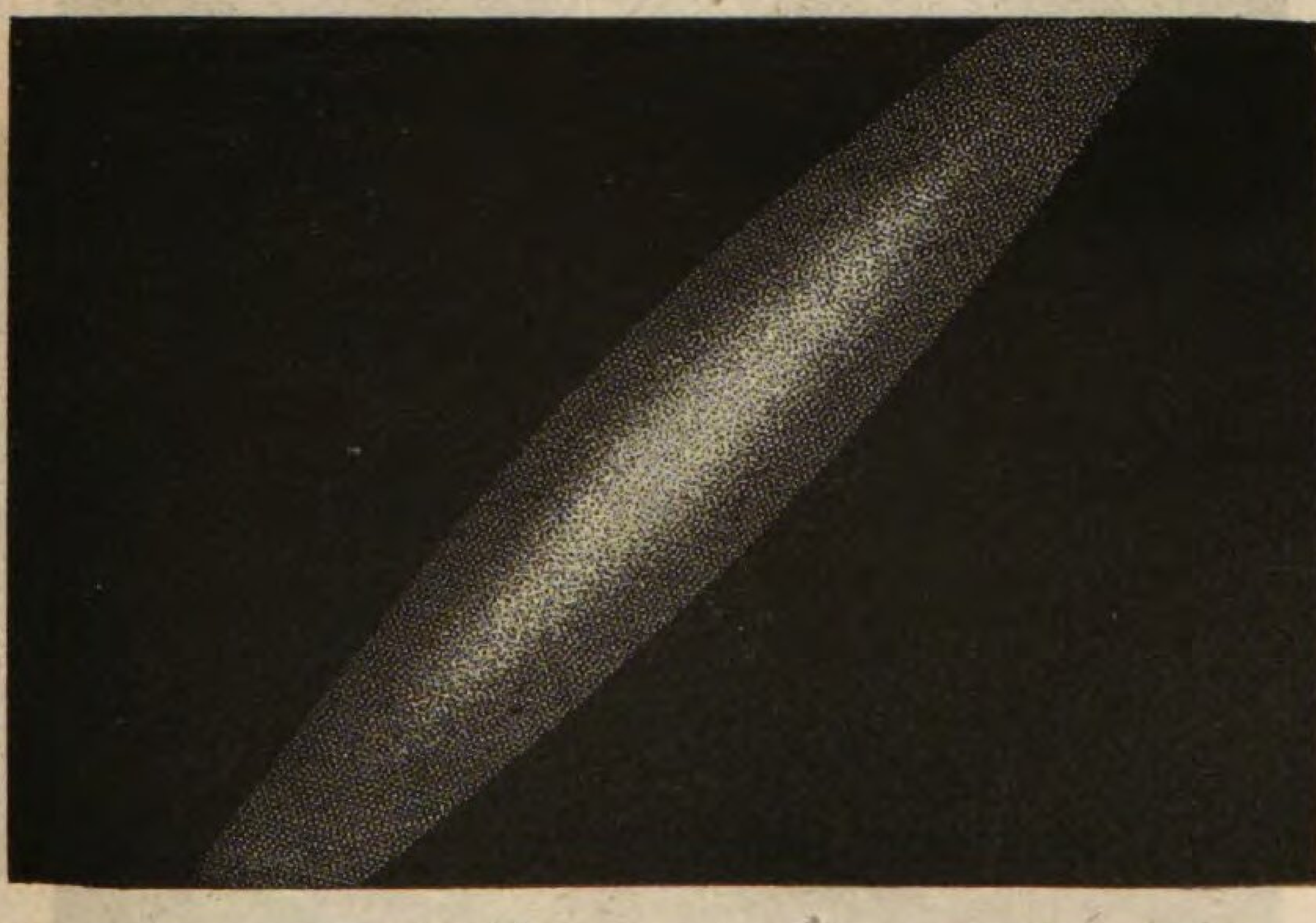
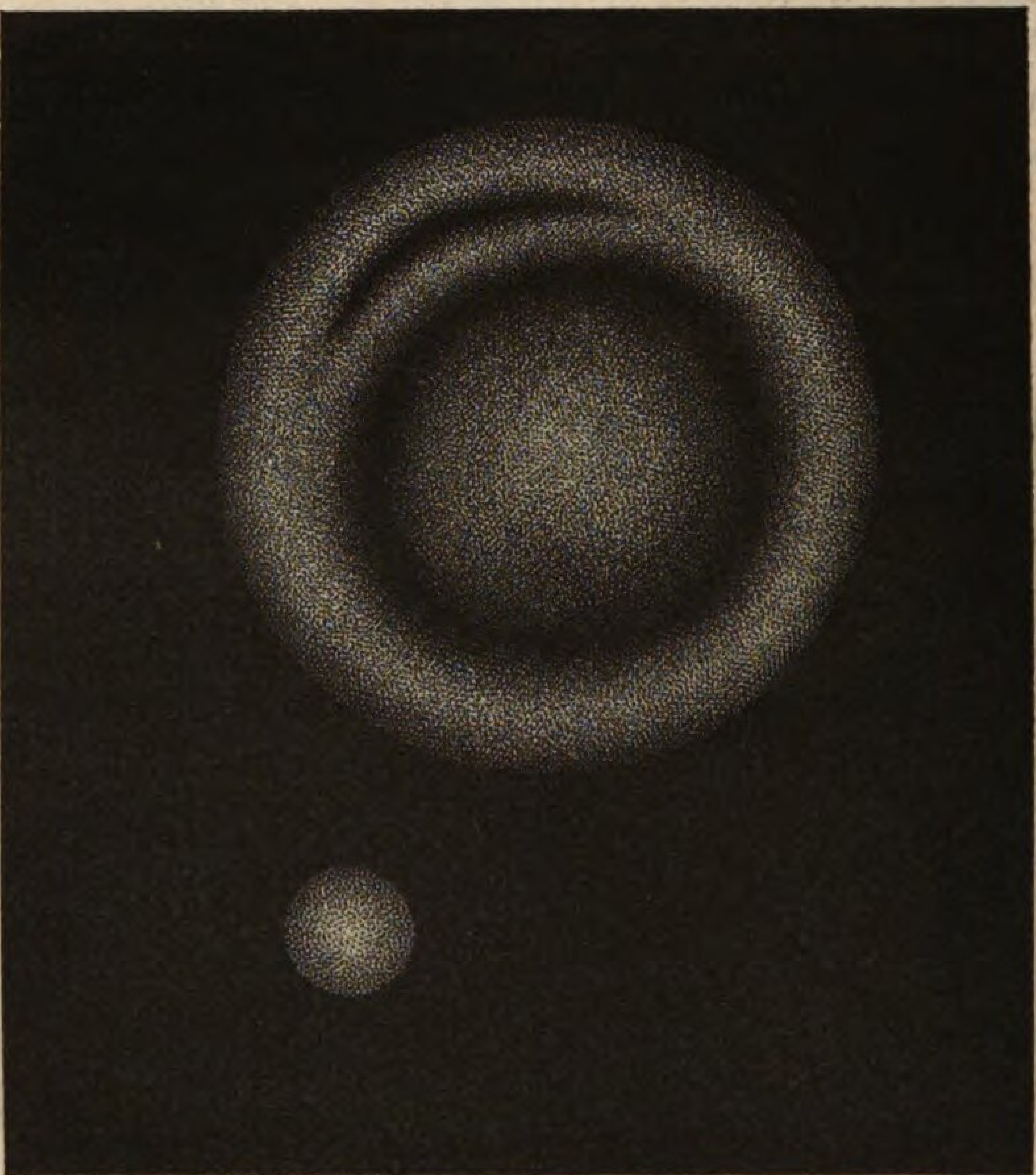


Fig. 150.



Fig. 151.



bildet ist und dessen Länge ungefähr $^1/_2$ Grad beträgt. Huyghens entdeckte im Jahre 1656 den sehr unregelmäßig gestalteten Nebel Fig. 150 (a. nebenst. S.) in der Nähe des Sterns *i* im Wehrgehäng des Orion, welchen ein gutes Auge gleichfalls ohne Fernrohr unterscheiden kann. Halley kannte im Jahre 1716 in Allem nur sechs Nebelflecke; durch die Arbeiten von Lacaille und Messier wurden 90 weitere bekannt, während W. Herschel allein mit Hülfe seiner mächtigen Teleskope deren 2500 entdeckte.

Viele dieser Nebel haben eine durchaus unregelmäßige Gestalt, andere dagegen zeigen eine regelmäßige Anordnung, wie z. B. der von Messier entdeckte Nebel in den Jagdhunden, Fig. 151 (a. nebenst. S.). Ein anderer ringförmiger Nebel, welcher Fig. 152 abgebildet ist, befindet sich zwischen den Sternen β und γ der Leier.

Fig. 152.

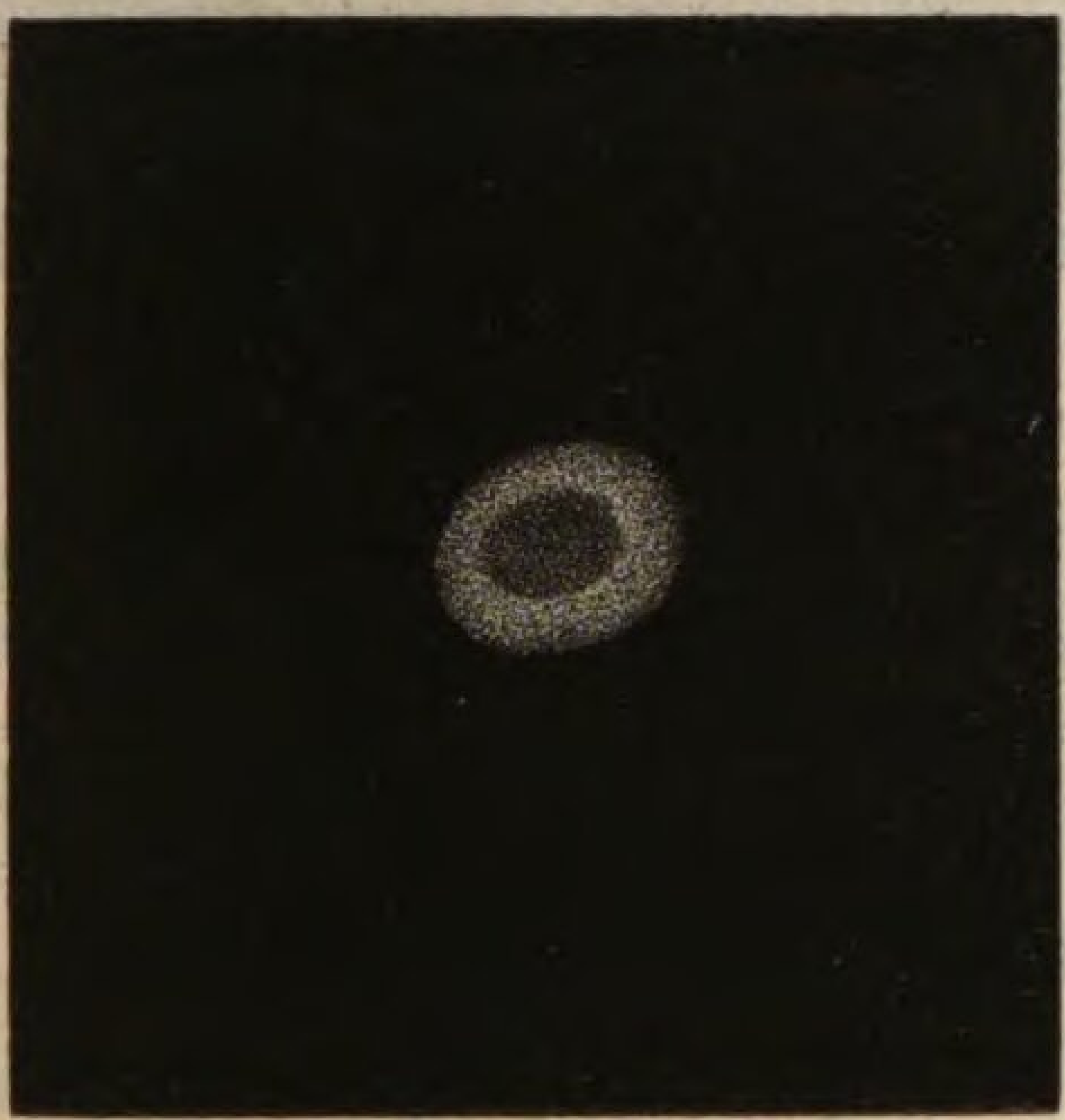


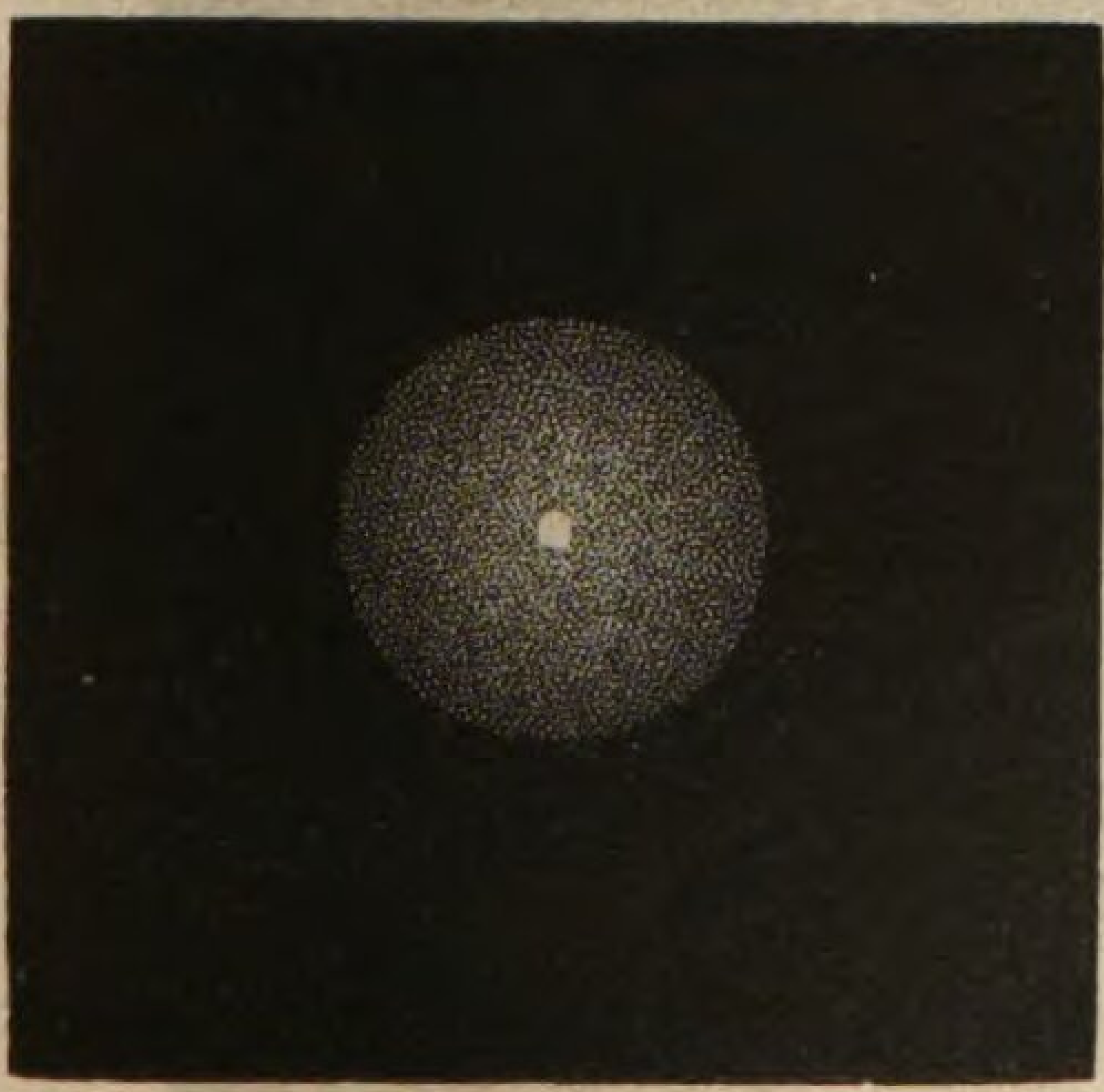
Fig. 153.



Eine große Anzahl von Nebeln, welche Herschel entdeckte, sind rund oder oval und zeigen bei fast gleichförmiger Helligkeit eine ziemlich scharfe Begränzung; wegen ihrer Aehnlichkeit mit dem Ansehen der Planeten wurden sie von ihrem Entdeckern planetarische Nebel genannt, Fig. 153.

Andere Nebel von gleicher äußerer Gestalt zeigen gegen ihre Mitte hin eine größere Lichtstärke, und bei einigen ist die Concentration des Lichtes der Art, daß in der Mitte des Nebels ein heller Punkt, einem verschleierten blassen oder selbst einem hellen Sterne ähnlich, erscheint, wie Fig. 154, weshalb sie Nebelsterne genannt werden.

Fig. 154.



Manche Nebel enthalten zwei oder drei solcher heller Punkte, wie z. B. die Nebel Fig. 155 und Fig. 156 (a. f. S.), von denen sich der erstere im Sternbilde des Schützen, der letztere im Sternbilde des Fuhrmanns befindet.

Fig. 155.



Fig. 156.



Fig. 157.

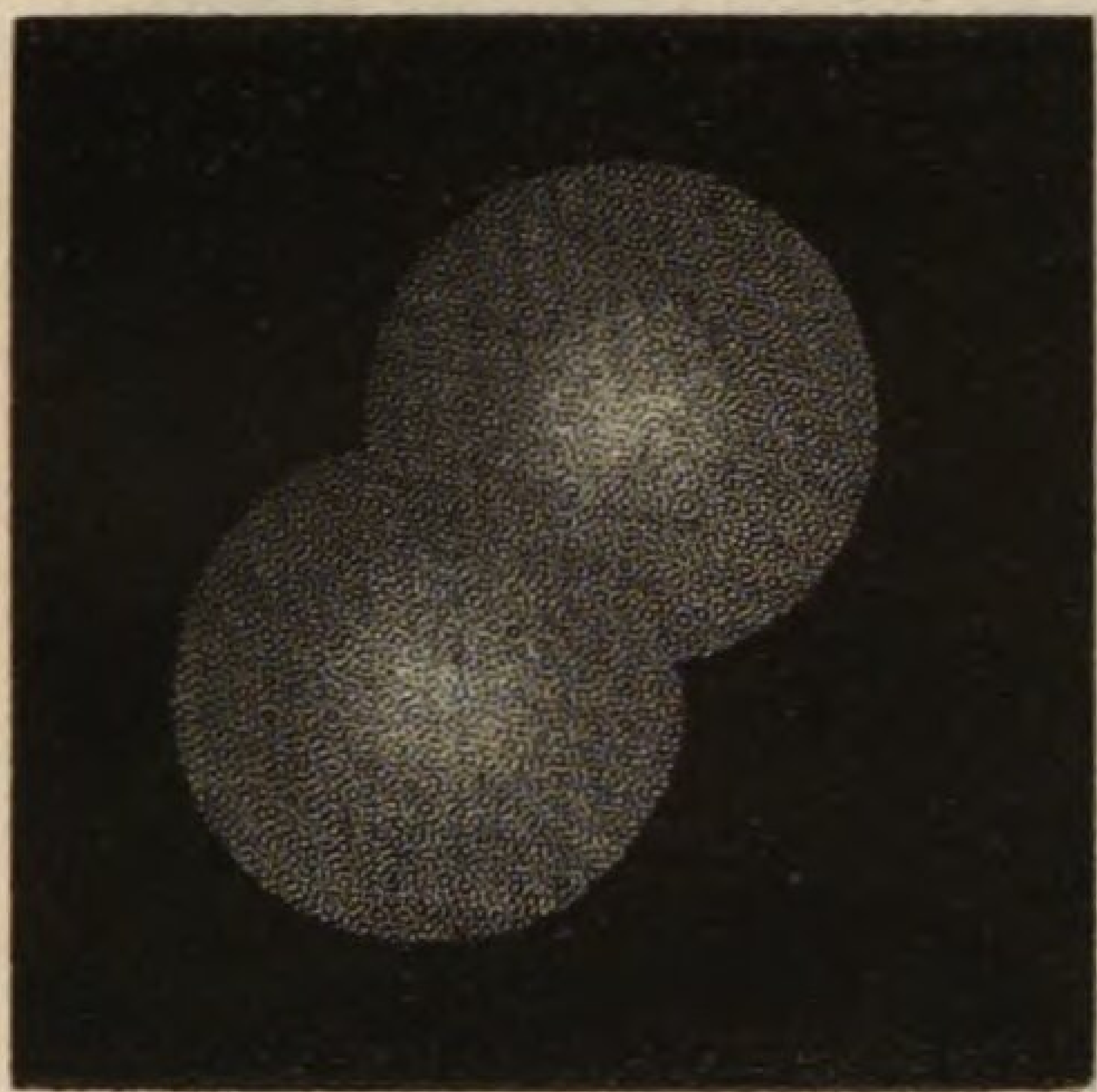


Fig. 157 stellt einen Doppelnebel dar, welcher sich ungefähr auf der Gränze zwischen dem großen Bären und dem Haar der Berenice befindet.

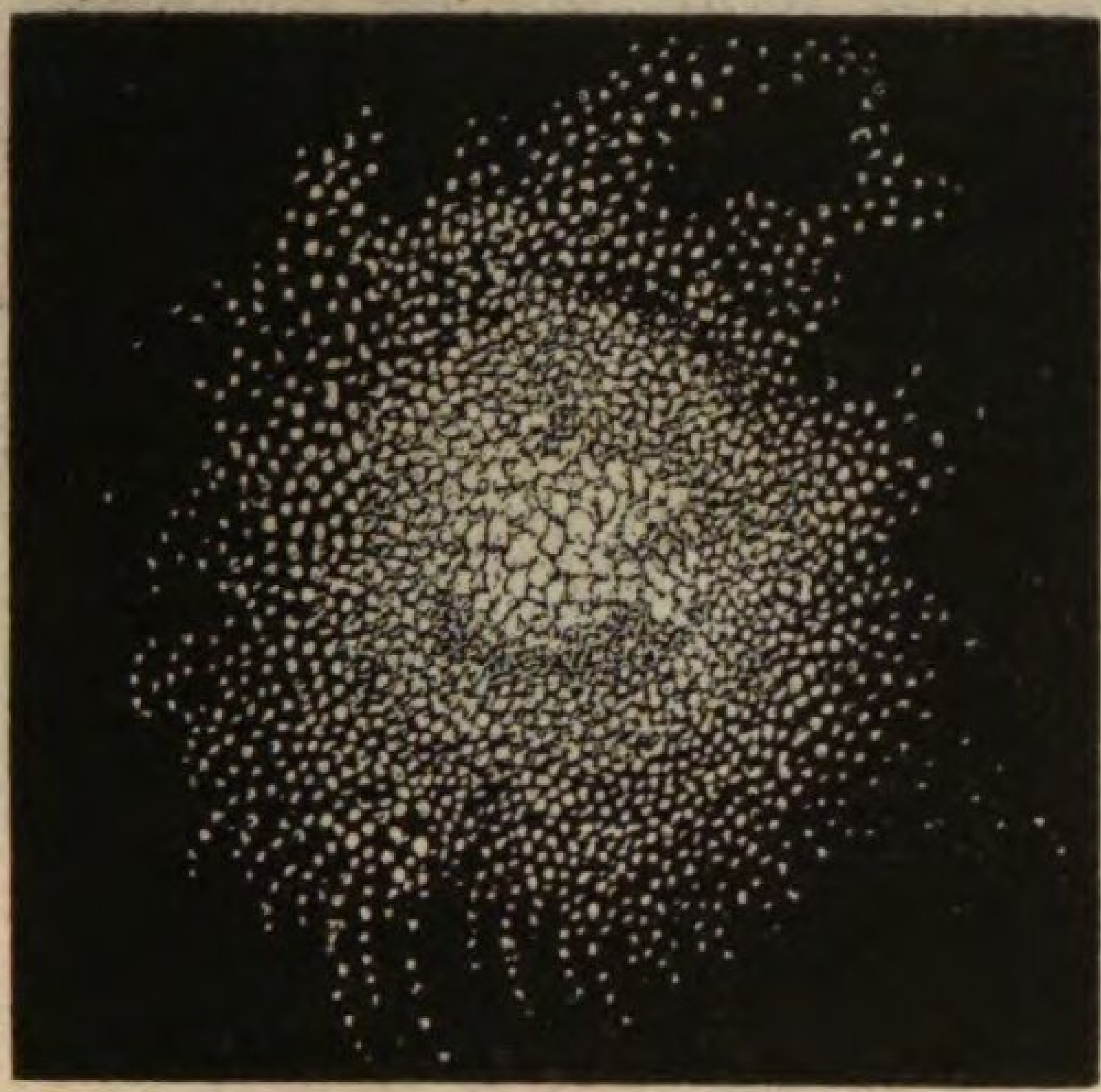
Die Plejaden (Fig. 158) erscheinen einem nicht ganz guten Auge nur als ein Nebel, während ein scharfes Auge hier 6 oder 7 einzelne Sterne unterscheidet und man mit einem Fernrohr ihrer 50 bis 60 zählen kann. Ebenso sieht man oft durch stärkere Teleskope dicht zusammengedrängte Sternhaufen, wo man durch schwächere Fernrohre nur einen Nebel wahrnehmen konnte.

Fig. 158.



Die Vergrößerung, welche man zur Auflösung verschiedener Nebel in einzelne Sterne nöthig hat, ist nicht immer die gleiche. Einige Nebel lassen sich schon durch geringere, andere nur durch die stärksten Vergrößerungen und die besten Instrumente auflösen. Fig. 159 stellt einen auflöslichen Nebel im Hercules dar, wie er durch sehr gute und stark vergrößernde Fernrohre gesehen wird.

Fig. 159.



Die Milchstraße gehört zu den auflöslichen Nebeln; denn sie erscheint, durch gute Fernrohre betrachtet, aus zahllosen kleinen dichtgedrängten Sternchen zusammengesetzt.

Die Art, wie uns die Milchstraße erscheint, erklärt sich aus der Annahme, daß die Sterne, aus welchen sie besteht, einen Ring bilden, welcher dem in Fig. 151 abgebildeten ähnlich ist, und daß sich die Sonne sammt ihrer Planeten nahezu in der Mitte dieses Ringes befinde.

Obgleich durch Anwendung stets besserer Instrumente immer mehr Nebel aufgelöst wurden, so ist es doch nicht anzunehmen, daß alle Nebel aus einzelnen Sternen zusammengesetzt sind; sondern es ist wahrscheinlicher, daß viele der unauflöslichen Nebel wirklich aus einem diffusen nebelartigen Stoffe bestehen, so daß diese Nebel von ähnlicher Natur sind, wie die Kometen.

Für diese Ansicht spricht namentlich der Umstand, daß es Nebel giebt, welche eine Reihe von Zwischenstufen zwischen den planetarischen Nebeln und den Nebelsternen bilden, d. h. Nebel, welche der Reihe nach immer stärkere Concentration des Lichtes in der Mitte zeigen, wodurch Herschel auf die Idee geführt wurde, daß der diffuse Stoff, aus welchem diese Nebel bestehen, sich nach und nach verdichtet und daß in Folge dieser Verdichtung Sterne entstehen.

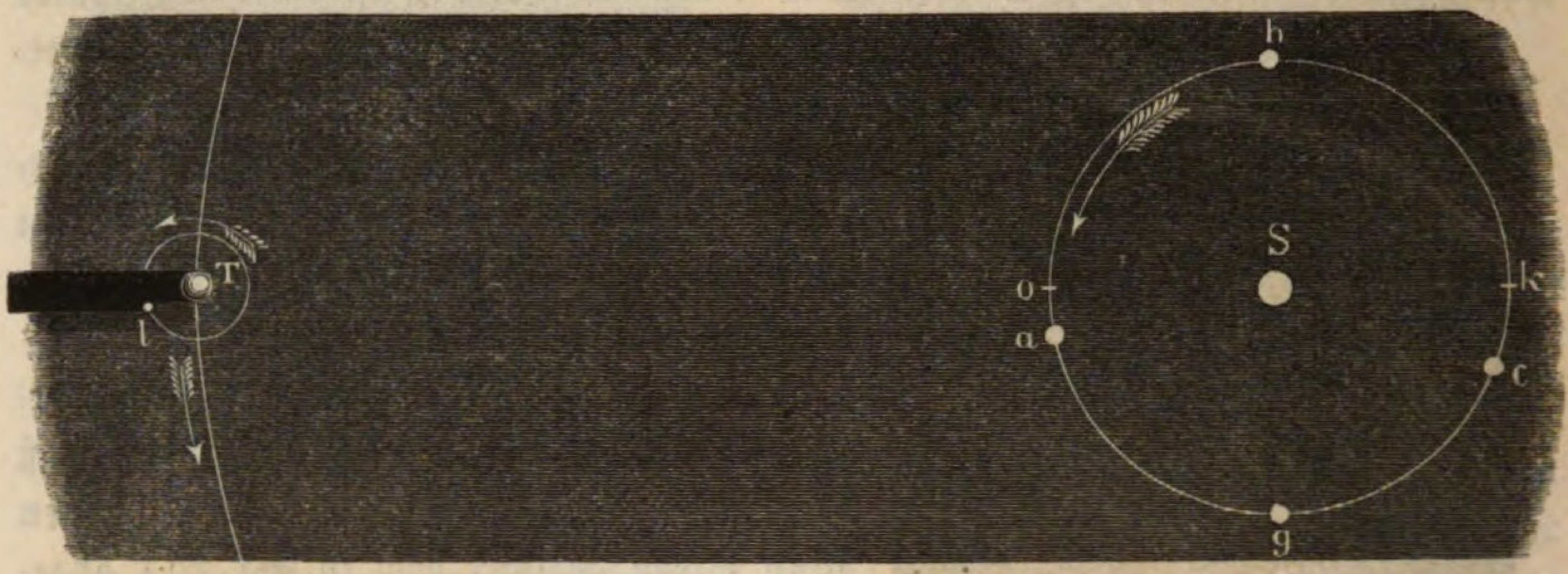
Geschwindigkeit des Lichtes. Vergeblich hatten die Mitglieder der 109
Florentinischen Akademie durch Versuche auf der Erde die Geschwindigkeit des Lichtes zu ermitteln versucht. Erst dem dänischen Astronomen Römer gelang es durch seine fleißigen Beobachtungen der Jupiterstrabanten, die er in den Jahren 1675 und 1676 mit Cassini dem Aelteren auf der Sternwarte zu Paris anstellte, dieselbe zu bestimmen.

Auf Seite 170 sind bereits die Verfinsterungen der Jupiterstrabanten besprochen worden. Die Geschwindigkeit, mit welcher sich das Licht im Weltraume fortpflanzt, ergiebt sich in folgender Weise aus einer genauen Beobachtung der Momente des Eintritts oder des Austritts der Trabanten in oder aus dem Schatten des Jupiter.

In Fig. 160 (a. f. S.) stelle S die Sonne, der um S gezogene Kreis die Erdbahn und T den Jupiter mit der Bahn eines seiner Trabanten dar. Während die Erde die Hälfte ihrer Bahn, also den Weg von o über g bis k, durchläuft, vollendet der Jupiter nur etwa $^1/_{24}$ seiner Bahn; der einfacheren Betrachtung wegen

wollen wir jetzt von dieser Bewegung des Jupiter ganz abstrahiren und annehmen, er stände ganz still. Während sich die Erde von *o* bis *k* bewegt, also

Fig. 160.



während der Zeit von der Opposition des Jupiter bis zur Conjunction können wir von der Erde aus sehen, wie die Trabanten auf der Ostseite des Schattens aus demselben austreten; von der Zeit der Conjunction aber bis zur nächsten Opposition können wir nur die Eintritte des Trabanten in den Jupitersschatten beobachten; während dieser Zeit sehen wir den Trabanten westlich vom Jupiter verschwinden.

Ermittelt man die Zeit, welche zwischen zwei auf einander folgenden Austritten eines und desselben Trabanten, etwa des ersten, vergeht, während Sonne und Jupiter in Quadratur sind, die Erde sich also ungefähr in *g* befindet, so findet man diese Zeit größer; ermittelt man dagegen die Zeit, welche zwischen zwei auf einander folgenden Eintritten bei der nächsten Quadratur, wenn die Erde ungefähr in *h* steht, so findet man sie kleiner, als wenn man dieselbe Bestimmung kurz vor oder nach der Opposition oder Conjunction macht.

Dies ist nun eine Folge davon, daß sich das Licht nicht momentan fortpflanzt, sondern daß es zur Durchlaufung größerer Räume eine namhafte Zeit gebraucht.

Zur Zeit der Opposition oder der Conjunction bewegt sich die Erde in Beziehung auf den Jupiter in einer Weise, daß sie sich demselben nicht merklich nähert oder von demselben entfernt; in diesen Perioden ist also die zwischen zwei auf einander folgenden Ein- oder Austritten vergehende Zeit nahezu die Umlaufszeit des Trabanten um den Jupiter.

In der Nähe der Quadratur bei *g* entfernt sich die Erde in gerader Linie von dem Jupiter und die zwischen zwei auf einander folgenden beobachteten Austritten vergehende Zeit ist also gleich der Umlaufszeit des Trabanten + der Zeit, welche das Licht zur Durchlaufung des Weges gebraucht, um welchen sich unterdessen die Erde vom Jupiter entfernt hat.

Zur Zeit derjenigen Quadratur, in welcher man die Eintritte der Trabanten in den Jupitersschatten sehen kann, also wenn sich die Erde ungefähr in *h* befindet, nähert sie sich fast in gerader Linie dem Jupiter, und demnach ist die Zeit, welche zwischen den beiden Momenten vergeht, in welchen man während dieser

Periode zwei auf einander folgende Eintritte beobachtet, gleich der Umlaufszeit des Trabanten — der Zeit, welche das Licht zum Durchlaufen des Weges gebraucht, um welchen sich während dieses Umlaufs die Erde dem Jupiter genähert hat.

Ein Beispiel mag dies erläutern.

Im Jahre 1851 wurde alsbald nach der Opposition ein Austritt des ersten Trabanten beobachtet am 11. April 15^h 6′ 36,3″; der nächste am 13. April 9^h 35′ 3,0″. Zieht man die erstere Zeit von der letzteren ab, so ergiebt sich für die Umlaufszeit des ersten Trabanten

42 Stunden 28′ 26,7″.

Zur Zeit der nächsten Quadratur wurde ein Austritt beobachtet am 14. Juli 10^h 21′ 50,3″ und ein anderer, und zwar von diesem an gerechnet der neunte, am 30. Juli 8^h 39′ 42″. Zieht man die erstere Zeit von der letzteren ab und dividirt man durch 9, so ergiebt sich für die zwischen zwei auf einander folgenden Austritten liegende Zeit.

42 Stunden 28′ 39″.

Zieht man davon die Umlaufszeit ab, wie sie aus den Aprilbeobachtungen abgeleitet wurde, so ergiebt sich 12,3 Secunden als die Zeit, welche das Licht gebraucht, um den Raum zu durchlaufen, um welchen sich in der Periode der Quadratur die Erde von dem Jupiter entfernt, während der erste Trabant einen Umlauf vollendet.

In einer Secunde geht die Erde in ihrer Bahn um 4 geographische Meilen vorwärts; während $42^1/_2$ Stunden, der Umlaufszeit des ersten Trabanten, durchläuft sie also einen Raum von 612000 Meilen, und diesen Raum durchläuft das Licht in 12,3 Secunden, in 1 Secunde also einen Weg von 49700 Meilen.

Dies Resultat ist jedoch nicht genau, wie sich denn überhaupt in der angegebenen Weise aus einzelnen Beobachtungen deshalb keine genaueren Resultate ziehen lassen, weil die Trabanten nicht immer genau durch die Mitte des Jupitersschatten gehen und deshalb die Aus- und Eintritte bald etwas früher bald etwas später erfolgen, als wenn die Trabanten stets an derselben Stelle den Jupitersschatten passirten.

Die genaue Umlaufszeit der Trabanten kann nur aus einer größeren Reihe von Beobachtungen mit Genauigkeit ermittelt werden. Sie ist für den ersten Trabanten 42 Stunden 28′ 35″.

Kennt man einmal die Umlaufszeit des Trabanten, kennt man ferner den Moment, in welchem kurz nach der Opposition, als sich etwa die Erde in *a* befand, ein Austritt desselben beobachtet wurde, so kann man berechnen, in welchem Momente, von dem erwähnten an gerechnet, der 100ste Austritt desselben Trabanten beobachtet werden müßte, vorausgesetzt, daß sich das Licht momentan fortpflanzte. (Bei dieser Berechnung darf aber natürlich die Fortbewegung des Jupiter und also auch die Veränderung in der Lage seines Schattens nicht unberücksichtigt bleiben.) Während dieser 100 Umläufe hat sich aber die Erde ungefähr bis *c* fortbewegt, und wenn man nun den Austritt beobachten will, so findet man, daß derselbe später, und zwar ungefähr um 15 Minuten nach

dem berechneten Moment stattfindet. Die Zeit nun, welche zwischen dem berechneten Moment und dem Zeitpunkte vergeht, in welchem der Austritt wirklich beobachtet wird, ist die Zeit, welche das Licht nöthig hat, um die Entfernung zu durchlaufen, um welche die Erde jetzt, da sie sich in *c* befindet, weiter von dem Jupiter absteht, als da sie noch in *a* war.

Man findet nun die Geschwindigkeit des Lichtes, wenn man die Differenz der Entfernungen durch beobachtete Verspätung dividirt. Es ergiebt sich auf diese Weise, daß das Licht in einer Secunde ungefähr einen Weg von 42000 Meilen zurücklegt, und daß es, um von der Sonne zur Erde zu gelangen, 8′ 13″ bedarf.

Auf der anderen Hälfte der Erdbahn, zwischen einer Conjunction und der nächsten Opposition werden die Eintritte vor den Momenten eintreten, welche man in obiger Weise von einem Eintritt unmittelbar nach der Conjunction ausgehend berechnet hat.

Bereits auf Seite 220 haben wir die Entfernung derjenigen Sterne kennen gelernt, welche uns am nächsten sind; da wir nun auch die Geschwindigkeit kennen, mit welcher sich das Licht im Weltraume fortpflanzt, so läßt sich leicht berechnen, welche Zeit das Licht gebraucht, um von einem dieser uns zunächst gelegenen Fixsterne auf die Erde zu gelangen. Es ergiebt sich für

α Centauri	3,5	Jahre
61 cygni	8,7	»
Sirius	14,1	»
Wega	15,3	»
Arcturus	24,3	»

Wenn also plötzlich das Licht des Arcturus verlöschen würde, so würden wir ihn doch noch 24 Jahre nach diesem Ereigniß am Himmel glänzen sehen.

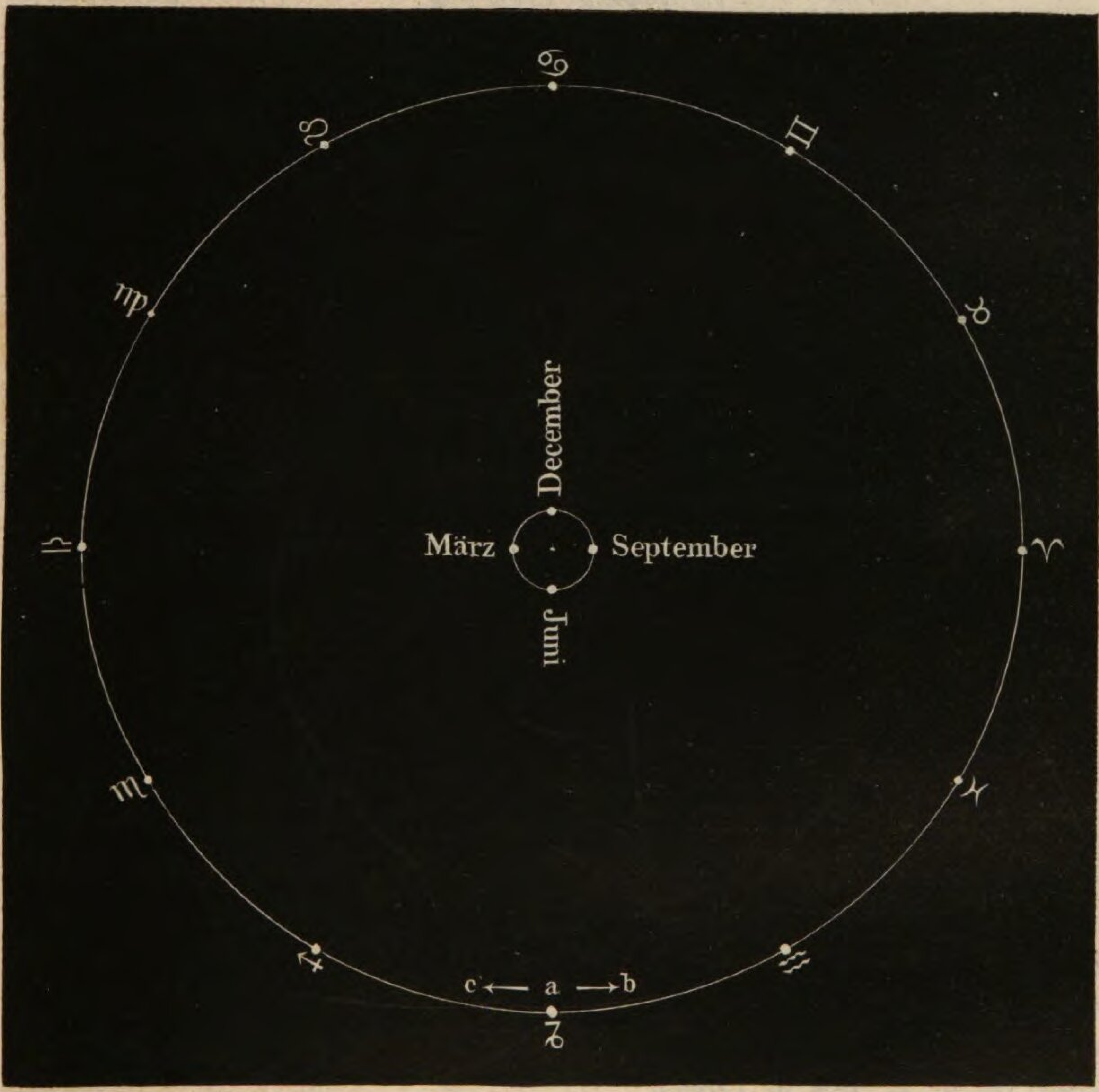
110 **Aberration des Lichts.** In der Absicht, eine Parallaxe der Fixsterne aufzufinden, hatte Bradley im Jahre 1725 eine Reihe genauer Fixsternbeobachtungen begonnen. Vorzüglich war es der Stern γ im Kopfe des Drachen, den er mehrere Jahre hindurch mit großer Aufmerksamkeit verfolgte. Er fand bald, daß weder die Länge noch die Breite dieses Sternes unverändert blieb. Im Juni, zur Zeit der Opposition mit der Sonne, war seine Länge stets am größten, im December dagegen, also zur Zeit der Conjunction, war sie am kleinsten; die Differenz der größten und kleinsten Länge betrug 40,5 Secunden; kurz, der Stern beschrieb während eines Jahres am Himmel eine kleine Ellipse, deren große Axe, mit der Ekliptik parallel, 40,5 Secunden betrug.

Eine ganz ähnliche, scheinbare Bewegung fand sich nun bei allen anderen Fixsternen. Für alle war die große Axe der Ellipse mit der Ekliptik parallel, und hat stets die gleiche Größe von 40,5 Secunden; für die Sterne, die in der Nähe des Pols der Ekliptik liegen, ist die fragliche Bewegung fast kreisförmig, während dagegen die kleine Axe der Ellipse um so kleiner, je mehr man sich der Ekliptik nähert; sie wird endlich Null für die Sterne, die auf der Ekliptik selbst liegen,

diese haben also bloß eine in der Ebene der Ekliptik hin- und hergehende Bewegung von 40,5″.

Bradley erkannte richtig als Ursache dieser Erscheinung, die er mit dem Namen der Aberration bezeichnete, das Zusammenwirken der Geschwindigkeiten des Lichts und der Erde. Um die Sache anschaulich zu machen, wollen wir einen Stern betrachten, der ungefähr gleiche Länge mit γ draconis hat, aber auf der Ekliptik selbst liegt, also den Punkt a, Fig. 161.

Fig. 161.

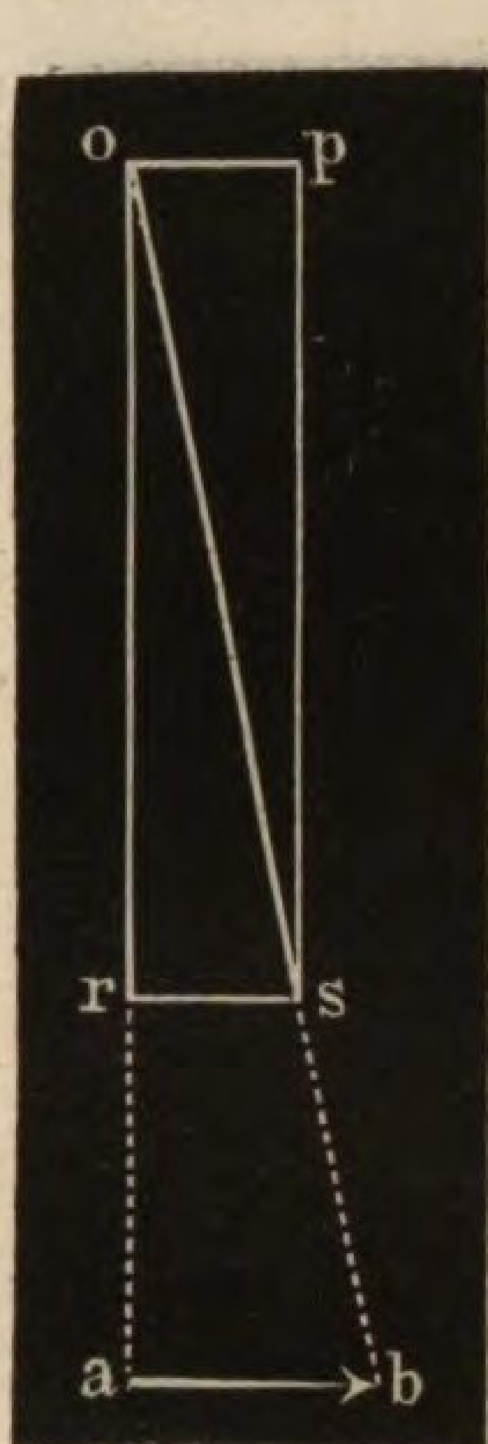


In dieser Figur bezeichnet nämlich der kleine Kreis die Erdbahn, der größere concentrische den Thierkreis, gegen dessen Durchmesser der Durchmesser der Erdbahn freilich verschwindend klein sein sollte. Im Juni wird nun der in a befindliche Stern durch die Aberration um 20″ in der Richtung nach b hin, im December wird er eben so weit in der Richtung nach c hin verrückt erscheinen.

Daraus geht nun zunächst hervor, daß man es hier nicht mit einer Wirkung der Parallaxe zu thun hat. In Folge der Parallaxe nämlich, wenn eine solche merklich wäre, müßte unser Stern im März seine größte, im September seine kleinste, im Juni und December dagegen seine mittlere Länge haben.

Gehen wir nun zur Erklärung der Erscheinung über. Im März bewegt sich die Erde gerade gegen den Punkt *a* hin, im September entfernt sie sich in gerader Linie von demselben, in dieser Zeit wird man also den Stern an seinem wahren Orte erblicken; im Juni und December dagegen macht die Erdbahn gerade einen rechten Winkel mit den von *a* zu ihr kommenden Lichtstrahlen. Stellt nun *o p*, Fig. 162, die Geschwindigkeit der Erde, *r o* die Geschwindigkeit der eben rechtwinklig auf ihre Bahn treffenden Lichtstrahlen dar, so combiniren sich die beiden Geschwindigkeiten offenbar in der Weise, daß der Eindruck auf das Auge in *o* derselbe ist, als ob bei ruhender Erde die Lichtstrahlen in der Richtung *o s* gekommen wären, kurz das Auge sieht den Stern *a* in *b*.

Fig. 162.



Nun ist der Winkel *r o s* = 20,25″, *o p* die Geschwindigkeit der Erde gleich 4,14 Meilen, es ist also

$$r o = \frac{r s}{tang.\ 20{,}25''} = \frac{o p}{0{,}0001} = \frac{4{,}14}{0{,}0001},$$

also die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes 41400 Meilen in der Secunde. Die nahe Uebereinstimmung dieses Resultates mit den Werthen, die wir im vorigen Paragraphen für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichts kennen lernten, liefert uns einen Beweis für die Richtigkeit des Princips, aus welchem die Aberrationserscheinung erklärt worden ist.

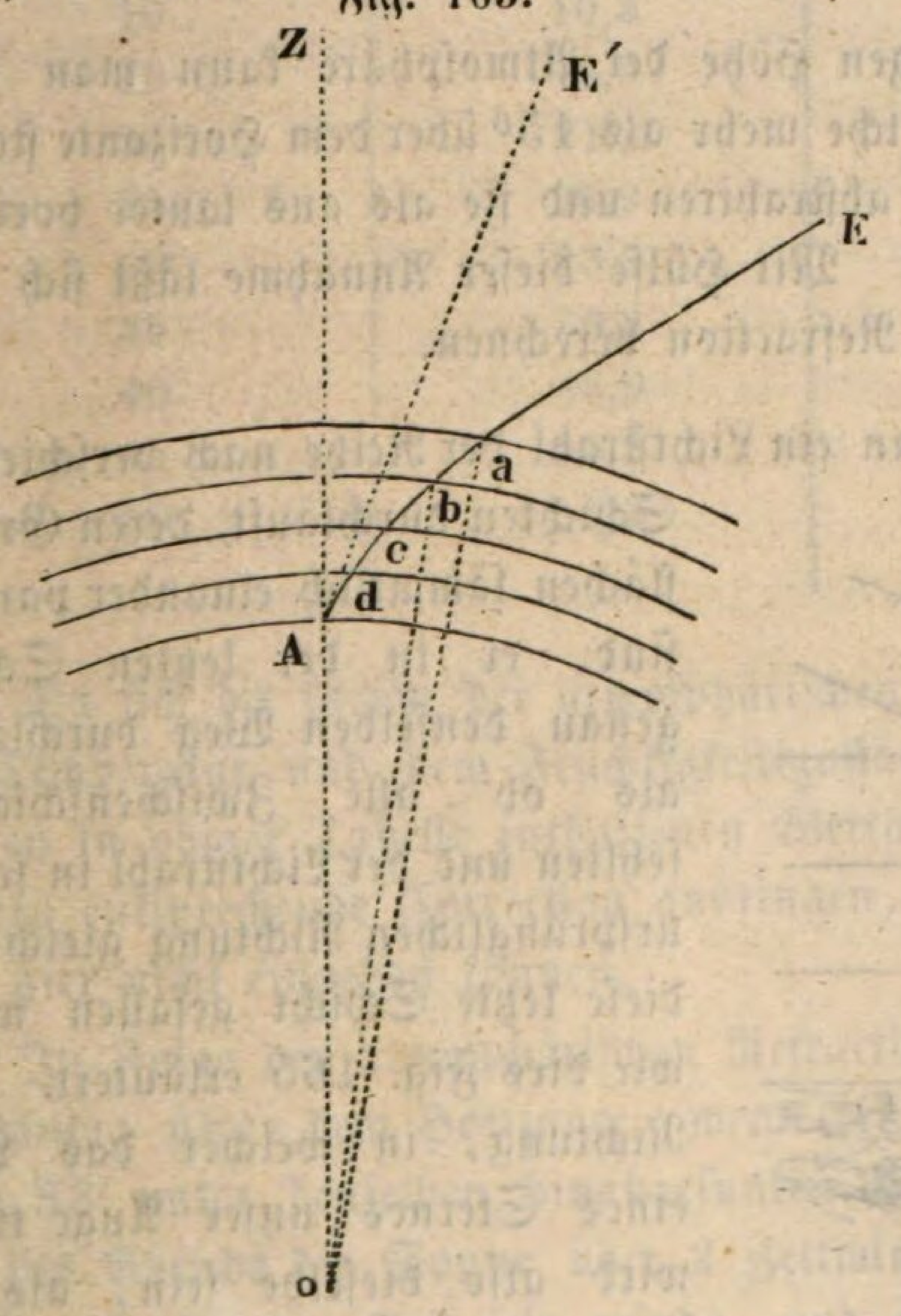
Der Winkel von 20,25″, um welchen ein Fixstern nach der Richtung hin verschoben erscheint, in welcher sich gerade die Erde bewegt, wenn die vom Sterne kommenden Strahlen rechtwinklig auf die Erdbahn fallen, heißt der Aberrationswinkel. Der Stern, welcher im Pol der Ekliptik steht, sendet seine Strahlen rechtwinklig auf alle Punkte der Erdbahn, er wird also von seinem wahren Orte stets um 20,25″ verrückt erscheinen, und zwar immer in der Richtung, mit welcher sich gerade die Erde bewegt; dieser Stern muß also am Himmel im Laufe eines Jahres einen kleinen Kreis von 20,25″ um seinen wahren Ort beschreiben.

Zweites Capitel.

Erscheinungen, welche durch Brechung und Spiegelung des Lichtes in der Atmosphäre bewirkt werden.

Atmosphärische Refraction. Wenn von irgend einem Gestirne ein 111
Lichtstrahl auf die Atmosphäre unserer Erde trifft, so wird er, den bekannten Brechungsgesetzen zufolge, von seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt; diese Ablenkung nimmt aber continuirlich zu, indem der Lichtstrahl allmälig in immer dichtere Luftschichten eindringt, und so kommt es, daß derselbe auf dem Wege durch die Atmosphäre bis zu der Erdoberfläche eine krumme Linie beschreibt.

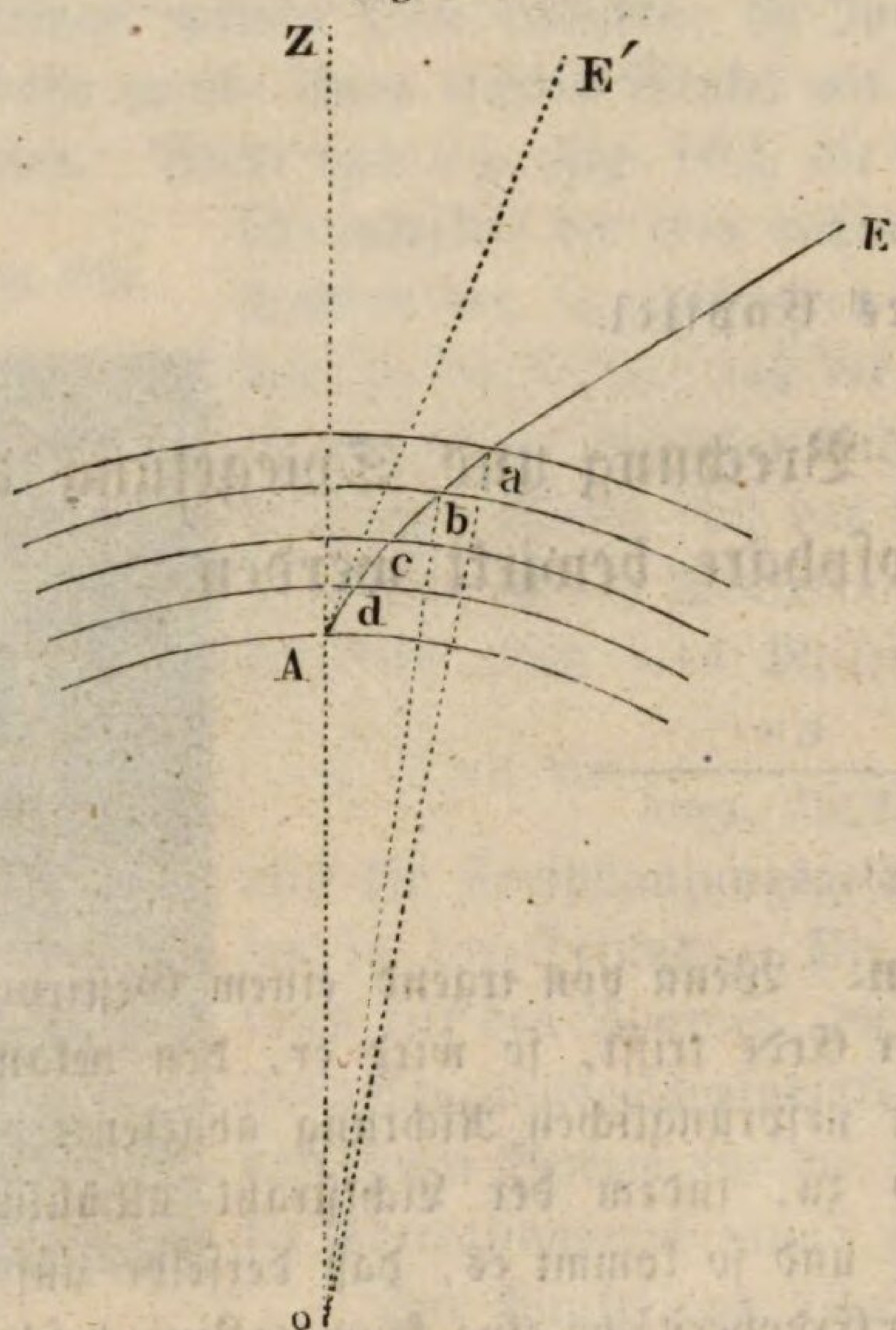
Fig. 163.



Um den ganzen Vorgang der atmosphärischen Refraction besser übersehen zu können, wollen wir annehmen, die ganze Atmosphäre sei in eine Reihe concentrischer Schichten getheilt, von denen jede ihrer ganzen Ausdehnung nach eine gleichförmige Dichtigkeit besitzt, aber dichter ist als die nächst höhere und weniger dicht als die nächst tiefere. Trifft nun ein Lichtstrahl Ea, Fig. 163, auf die oberste Schicht der Atmosphäre, so wird er in der Weise abgelenkt, daß er dem Einfallsloth ao genähert wird, er wird die oberste Schicht in der Richtung ab durchlaufen; in b auf eine dichtere Luftschicht treffend, erleidet der Strahl eine zweite Ablenkung in demselben Sinne u. s. w. und kommt endlich auf der Oberfläche der Erde bei A an, nachdem er die unterste Schicht der Atmosphäre

in der Richtung dA durchlaufen hat. In der Wirklichkeit ist aber nun $abcdA$ keine gebrochene Linie, sondern eine continuirliche Curve. Ein Beobachter, welcher sich in A befindet, wird offenbar denselben Eindruck haben, als ob das Gestirn, von welchem der Lichtstrahl ausgeht, sich in der Richtung der in A an die Curve gelegten Tangente AE' befände. Durch den Einfluß der atmosphärischen Refraction erscheinen also alle Gestirne dem Zenith näher gerückt, sie scheinen höher über dem Horizonte zu stehen als es wirklich der Fall ist.

Fig. 164.

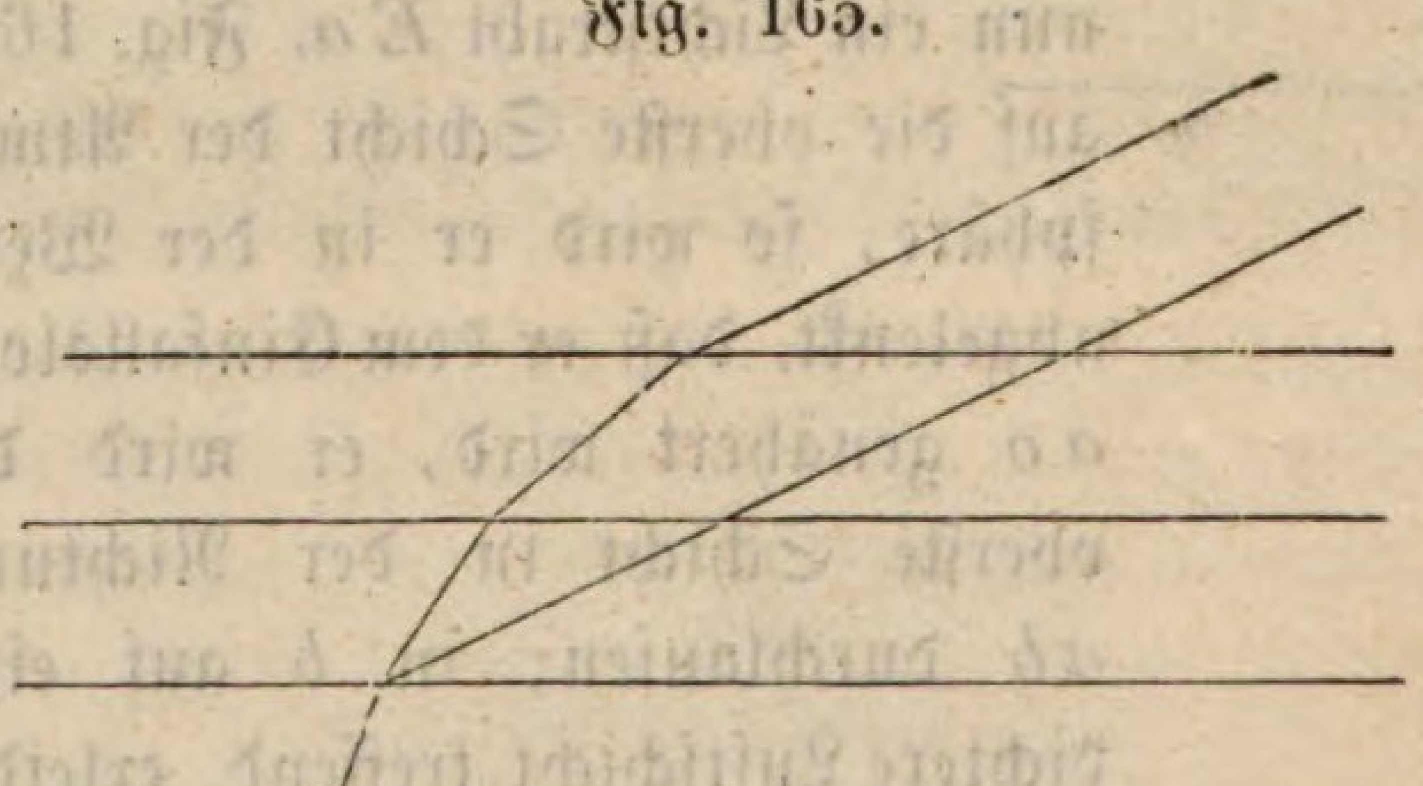


Die mit einem Höhenkreise gemachten Messungen geben uns also keineswegs die wahren Werthe der Zenithdistanz der Gestirne, sondern die durch die atmosphärische Refraction verminderte Zenithdistanz; um also den wahren Ort eines Gestirnes am Himmelsgewölbe zu bestimmen, muß man die Größe der atmosphärischen Refraction kennen und dieselbe in Rechnung bringen.

Bei der verhältnißmäßig geringen Höhe der Atmosphäre kann man ohne merklichen Fehler für alle Gestirne, welche mehr als 15° über dem Horizonte stehen, von der Krümmung der Atmosphäre abstrahiren und sie als aus lauter horizontalen Schichten bestehend betrachten. Mit Hülfe dieser Annahme läßt sich nun leicht die Größe der atmosphärischen Refraction berechnen.

Die Physik lehrt uns, daß, wenn ein Lichtstrahl der Reihe nach verschiedene Schichten durchläuft, deren Gränzflächen sämmtlich einander parallel sind, er in der letzten Schicht genau denselben Weg durchläuft, als ob alle Zwischenschichten fehlten und der Lichtstrahl in seiner ursprünglichen Richtung gleich auf diese letzte Schicht gefallen wäre, wie dies Fig. 165 erläutert. Die Richtung, in welcher das Licht eines Sternes unser Auge trifft, wird also dieselbe sein, als ob seine Strahlen unmittelbar aus

Fig. 165.



dem luftleeren Himmelsraume auf eine Atmosphäre getroffen wären, deren Dichtigkeit so groß ist wie die Dichtigkeit der Luft, in der wir uns gerade befinden.

Beim Uebergang eines Lichtstrahles aus dem leeren Raume in Luft von 0° und einem Barometerstand von 760^{mm} ist der Brechungsexponent 1,000294 (Lehrbuch der Physik, 4. Aufl., 1. Band, Seite 411); bezeichnen wir also die wahre Zenithdistanz mit z, die durch die atmosphärische Refraction verkleinerte oder die scheinbare Zenithdistanz mit z', so ist:

$$\sin. z = 1{,}000294 \sin. z'.$$

Der Brechungsexponent der Luft ändert sich aber mit dem Barometerstande, der Temperatur u. s. w. Für einen Barometerstand von 760^{mm} und eine Temperatur von 10° C. ist er 1,00028; für diesen Werth des Brechungsexponenten der Luft enthält die folgende Tabelle für die scheinbaren Zenithdistanzen von 5 zu 5 Grad die entsprechenden Werthe der atmosphärischen Refraction, d. h. den Winkel, um welchen die wahre Zenithdistanz größer ist als die scheinbare. Außerdem ist noch die Refraction für 87° und 89° beigefügt worden, um zu zeigen, wie rasch dieselbe gegen den Horizont hin zunimmt.

Scheinbare Zenithdistanz.	Atmosphärische Refraction.	Scheinbare Zenithdistanz.	Atmosphärische Refraction.
5°	5,1″	55°	1′ 23,1″
10	10,3	60	1 40,6
15	15,6	65	2 4,3
20	21,2	70	2 38,8
25	27,2	75	3 34,3
30	33,6	80	5 19,8
35	40,8	85	9 54,3
40	48,9	87	14 28,1
45	58,2	89	24 21,2
50	1′ 9,3	90	33 46,3

Da sich die Größe der atmosphärischen Brechung mit dem Barometerstande der Temperatur und dem Feuchtigkeitszustande der Luft ändert, so muß man an den in obiger Tabelle enthaltenen Werthen noch eine den veränderten Umständen entsprechende Correction anbringen, auf deren nähere Besprechung wir aber hier nicht eingehen können.

In Folge der atmosphärischen Refraction sehen wir auch die Sonne noch vollständig über dem Horizonte, wenn der untere Rand derselben in der That schon 33′ unter denselben hinabgesunken ist; durch die Atmosphäre bleibt uns also des Abends die Sonne über 2 Zeitminuten länger sichtbar, als es ohne die Atmosphäre der Fall sein würde, und ebenso findet der scheinbare Sonnen-

aufgang um mehr als 2 Minuten früher Statt als der wahre. Dies erklärt nun auch, daß man bei einer Mondfinsterniß Sonne und Mond zugleich über dem Horizonte sehen kann, wie es in der That der Fall ist, wenn die Mondfinsterniß zur Zeit des Sonnenaufganges oder des Sonnenunterganges stattfindet.

112 **Das Funkeln der Sterne.** Gewöhnlich erscheint uns das Licht der Fixsterne nicht ruhig, sondern es scheint von Zeit zu Zeit, und zwar abwechselnd mit grüner, blauer oder rother Farbe aufzublitzen. Diese beständige Veränderung im Lichte der Fixsterne ist es, welche man Funkeln oder auch Scintillation nennt.

Die mit bloßem Auge sichtbaren Planeten zeichnen sich vor den Fixsternen durch ein sehr ruhiges Licht aus; sie zeigen das Phänomen des Funkelns entweder gar nicht oder doch weit schwächer.

Eine Erklärung dieses eigenthümlichen Phänomens, welches wesentlich dazu beiträgt, die Schönheit des gestirnten Himmels zu erhöhen, hat uns Arago gegeben. Für die Bewohner der Erde sind die Fixsterne nur als leuchtende Punkte zu betrachten. Zwei homogene Lichtstrahlen, welche gleichzeitig von dem Sterne ausgehend in das Auge des Beobachters gelangen, werden aber, so nahe sie auch einander sein mögen, bei ihrem Durchgange durch die Atmosphäre nicht immer gleiche Verzögerungen erleiden, indem die geringsten Differenzen in der Dichtigkeit der durchlaufenen Luftschichten schon einen namhaften Gangunterschied der beiden Strahlen bewirken können. Weil aber ein beständiger Wechsel der Temperatur, des Druckes und der Feuchtigkeit in der Luft stattfindet, so wird auch die Größe dieses Gangunterschiedes fortwährenden Schwankungen unterworfen sein, und so kommt es denn, daß zwei solche Strahlen, auf der Netzhaut des Auges vereinigt, sich entweder gegenseitig in ihrer Wirkung unterstützen (wenn der Gangunterschied Null ist oder ein gerades Vielfaches einer halben Wellenlänge beträgt) oder sich gegenseitig aufheben (wenn der Gangunterschied einem ungeraden Vielfachen einer halben Wellenlänge gleich ist). Auf diese Weise wird also das Licht des Sternes bald stärker, bald schwächer erscheinen und dieser Wechsel kann mit großer Geschwindigkeit vor sich gehen.

Wir haben bisher angenommen, daß der Stern nur homogenes, einfarbiges Licht, also etwa nur rothes oder nur blaues aussende. Dies ist aber in der That nicht der Fall, da das Licht der Fixsterne weiß, also aus verschiedenfarbigen Strahlen zusammengesetzt ist. Da nun die Wellenlänge der verschiedenfarbigen Strahlen nicht gleich ist, so wird unter sonst gleichen Umständen der Gangunterschied der rothen Strahlen ein anderer sein müssen, als der der grünen, blauen u. s. w. In demselben Augenblicke, wo die rothen Strahlen sich fast aufheben, können also die grünen gerade so interferiren, daß sie sich gegenseitig verstärken, und im nächsten Moment wird dann wieder ein Aufblitzen des rothen Lichtes stattfinden, während die blauen und grünen Strahlen fast erloschen erscheinen.

Während die Fixsterne, selbst durch die stärksten Fernrohre betrachtet, noch keine merklichen Dimensionen zeigen, haben die Planeten, durch Fernrohre betrachtet, einen namhaften Durchmesser; ein Planet kann demnach als ein Aggregat

einfacher leuchtender Punkte betrachtet werden. Jeder dieser Punkte für sich allein wird sich nun wie ein Fixstern verhalten, und er würde funkeln wie ein Fixstern, wenn er isolirt wäre. Da aber nicht alle leuchtenden Punkte, welche die Scheibe des Planeten bilden, gleichzeitig auf gleiche Weise funkeln, so wird das Funkeln des einen Punktes im Allgemeinen das des anderen neutralisiren, und so kommt es denn, daß die Planeten sich durch ein ruhiges Licht auszeichnen.

Man hat bemerkt, daß sich das Funkeln der Sterne dann besonders stark zeigt, wenn die Luft längere Zeit hindurch trocken war und sich nun mehr Wasserdampf in derselben zu verbreiten beginnt, so daß ein auffallend lebhaftes Funkeln der Sterne den Seeleuten als ein Zeichen bald eintretenden Regens gilt.

Zwischen den Wendekreisen, wo die Luft oft eine bewundernswerthe Ruhe und Klarheit zeigt, ist das Funkeln der Sterne bei Weitem nicht so auffallend und lebhaft als in höheren Breiten.

Unvollkommene Durchsichtigkeit der Luft. Gewiß ist die atmosphärische Luft ungemein durchsichtig im Vergleich gegen alle uns bekannten festen und flüssigen Körper und dennoch ist sie, wie uns die alltäglichsten Erscheinungen lehren, keineswegs vollkommen durchsichtig. Entfernte Gegenstände erscheinen uns nicht nur unter kleinerem Gesichtswinkel, ihre Färbung erscheint matter, die Contraste zwischen Schatten und Licht sind schwächer; kurz, je entfernter ein Gegenstand ist, desto mehr scheint er uns mit einem milchigen, blaßblauen Schleier überzogen, wie man namentlich an entfernten Bergen es deutlich sieht. Man bezeichnet diese Wirkung der unvollständigen Durchsichtigkeit der Luft mit dem Namen der Luftperspective. 113

Um ein Maß für die Schwächung des Lichtes durch die Atmosphäre zu erhalten, construirte Saussure eine Vorrichtung, welche er Diaphanometer nannte. Diese Vorrichtung besteht aus zwei weißen Scheiben, von denen die eine ungefähr 6 Fuß, die andere 6 Zoll im Durchmesser hat; in der Mitte der größeren Scheibe ist ein schwarzer Kreis von 24 Zoll, auf der anderen ein solcher von 2 Zoll gemalt. Beide Scheiben werden neben einander aufgestellt, und zwar so, daß sie nach einer und derselben Seite gekehrt und vollkommen gleich beleuchtet sind. Entfernt man sich nun allmälig, so kommt man bald zu einem Punkte, in welchem der kleine schwarze Kreis dem Auge verschwindet, und wenn man sich dann noch weiter von den Scheiben entfernt, so gelangt man endlich auch dahin, daß der größere schwarze Kreis auch nicht mehr sichtbar ist.

Mißt man nun die Entfernungen der Scheibe von den Punkten, in welchen der kleine und der große Kreis verschwindet, so findet man, daß sie keineswegs den Durchmessern der Kreise proportional sind, wie es sein müßte, wenn die Luft vollkommen durchsichtig und das Verschwinden der schwarzen Kreise nur durch die Kleinheit des Gesichtswinkels bedingt wäre.

Bei einem derartigen Versuche verschwand z. B. der kleine Kreis in einer Entfernung von 314 Fuß, der große aber nicht in zwölffacher Entfernung, sondern schon bei einem Abstande von 3588 Fuß. Die beiden Abstände verhalten sich wie 1 zu 11,427; die kleine schwarze Scheibe ver-

schwand unter einem Gesichtswinkel von 1′ 49″, die große schon unter einem Gesichtswinkel von 1′ 55″.

Daß der größere schwarze Kreis schon verschwindet, bevor der Sehwinkel auf die Größe herabgesunken ist, bei welcher der kleine Kreis aufhört, dem bloßen Auge sichtbar zu sein, rührt nur daher, daß bei größerer Entfernung in Folge der durch die Atmosphäre bewirkten Lichtabsorption der Contrast der schwarzen Scheibe und des weißen Grundes geringer wird.

In größeren Höhen über dem Meeresspiegel ist begreiflicher Weise die Luft durchsichtiger als in der Tiefe, wie dies auch vergleichende Versuche darthun, welche H. Schlagintweit in den Alpen anstellte. An sehr günstigen reinen Tagen fand er für den Quotienten der beiden Entfernungen, in welchen die kleine und große Scheibe verschwinden, den Werth

10,279 in einer Höhe von 2300′ über dem Meere, und
11,957 » » » » 12000′ » » »

Man sieht, wie sich dieser Quotient für größere Höhen seinem Gränzwerthe 12 weit mehr nähert, als es für tiefer liegende Orte der Fall ist.

Die Durchsichtigkeit der Luft ist aber selbst für einen und denselben Ort von sehr veränderlicher Größe. Während man z. B. bei durchsichtiger Luft von den Höhen des Schwarzwaldes aus die schneebedeckte Alpenkette in großer Klarheit und mit scharfen Umrissen erblickt, ist dieselbe an anderen Tagen oft bei ganz wolkenfreiem Himmel ganz unsichtbar.

Im Allgemeinen sind die sonnigsten, wolkenfreiesten Tage keineswegs diejenigen, an welchen die Luft besonders durchsichtig ist, im Gegentheil hat man bei anhaltend guter Witterung selten eine klare Fernsicht; und man kann es fast stets als ein Zeichen bald eintretenden Regens betrachten, wenn ferne Berge sehr klar erscheinen. Die Luft erreicht, wenigstens in unseren Klimaten, ihre größte Durchsichtigkeit, wenn nach lang anhaltendem Regen oder auch nach einem Gewitter eine rasche Aufheiterung des Himmels erfolgt, die aber dann selten von Dauer ist.

Wodurch diese Variationen in der Durchsichtigkeit der Luft bedingt sind, welche Rolle dabei namentlich der Wasserdampf spielt, ist noch keineswegs genügend ermittelt.

In den Aequatorialgegenden ist die Luft bei Weitem durchsichtiger als in unseren Gegenden, so daß man dort kleinere Sterne deutlich mit bloßem Auge unterscheiden kann, die bei uns stets unsichtbar bleiben. So unterschied Humboldt an der Küste von Cumana und auf den 12000 Fuß hohen Ebenen der Cordilleren mit unbewaffnetem Auge vollkommen deutlich das Sternchen Alcor (auch das Reiterchen genannt), welches ganz in der Nähe des Sternes Mizar im Schwanze des Großen Bären steht, obgleich dieses Sternbild in Südamerika nicht so hoch über dem Horizonte steht, wie bei uns, wo man es nur selten und dann nicht mit großer Bestimmtheit von dem benachbarten Mizar getrennt zu erkennen im Stande ist.

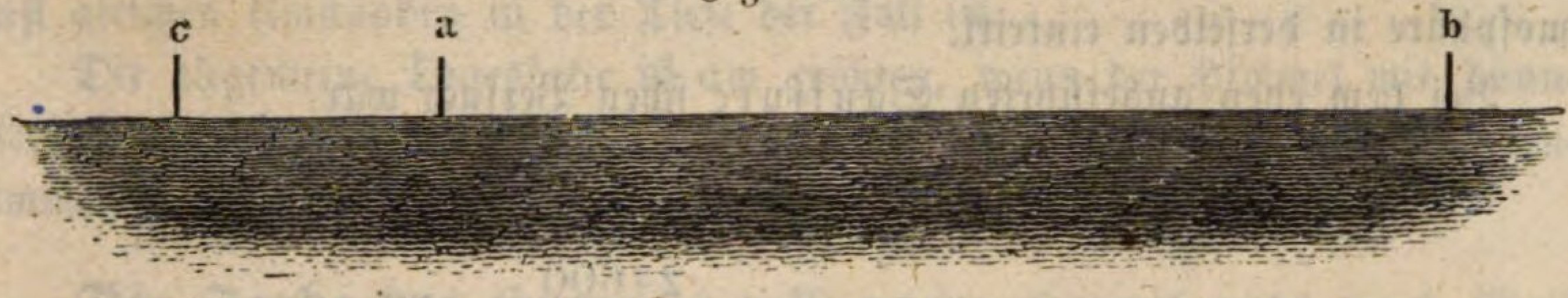
In der Nähe von Quito sah Humboldt mit unbewaffnetem Auge auf eine Entfernung von vier deutschen Meilen einen weißen, sich vor den schwarzen

basaltischen Wänden hinbewegenden Punkt, den er durch das Fernrohr als seinen in einen weißen Mantel gehüllten Reisegefährten Bonpland erkannte.

Sehr durchsichtig ist auch die trockene Luft der Binnenländer, selbst in höheren Breiten, so namentlich in Persien, dem Himalaya und in Sibirien.

Größe der Lichtabsorption in der Atmosphäre. Aus Versuchen mit dem Saussure'schen Diaphanometer kann man annähernd berechnen, welches die Gesammtabsorption ist, welche die Strahlen eines Gestirnes bei ihrem Durchgange durch die Atmosphäre erleiden. Ist *c*, Fig. 166, die Stelle, 114

Fig. 166.



an welcher das Diaphanometer aufgestellt ist, *a* die Stelle, an welcher der kleine, *b* diejenige, an welcher der große schwarze Kreis verschwindet, so müßte cb gleich $12 \cdot ca$ sein, wenn keine Schwächung des Lichtes in der Atmosphäre stattfände. Bei dem oben angeführten Versuche aber war $cb = 11{,}427\ ac$; wir können daraus schließen, daß wenigstens annähernd $\frac{11{,}427}{12}$ oder 0,9523 des Lichtes, welches, von *c* ausgehend, bei *a* passirt, bis nach *b* gelangt, daß also auf dem Wege von *a* bis *b* 0,0477 des bei *a* passirenden Lichtes absorbirt werden.

Bei dem besprochenen Versuche betrug die Länge des Weges ab 3274 Fuß.

Weiß man aber einmal, wie viel Licht durch eine Luftschicht von bekannter Länge absorbirt wird, so kann man daraus auf die Gesammtabsorption in der ganzen Atmosphäre schließen.

Es sei der Barometerstand des Beobachtungsortes $\frac{28}{n}$ Zoll, so hält der Druck der Atmosphäre einer $\frac{32}{n}$ Fuß hohen Wassersäule das Gleichgewicht, während die Dichtigkeit der Luft am Beobachtungsorte $770 \cdot n$ mal geringer ist als die des Wassers.

Eine Luftsäule, deren Dichtigkeit durchaus dieselbe wäre, wie am Beobachtungsorte, müßte demnach eine Höhe von $n \cdot 770 \cdot \frac{32}{n} = 24600$ Fuß haben, wenn sie denselben Druck ausüben sollte wie die Atmosphäre, welche auf dem Beobachtungsorte lastet; es läßt sich demnach wenigstens als annähernd richtig annehmen, daß auch die Lichtabsorption, welche die ganze über uns befindliche Luftschicht auf Strahlen ausübt, die vom Zenith herabkommen, dieselbe ist, als ob sie einen Weg von 24600 Fuß durch Luft von der Art zurückgelegt hätte, wie sie sich am Beobachtungsorte befindet.

Wenn nun eine Luftschicht von der Länge l von der sie treffenden Lichtmenge $\frac{1}{x}$ durchläßt, so wird eine Luftschicht derselben Art von der Länge $2\,l$, $3\,l$ u. s. w. $\left(\frac{1}{x}\right)^2$, $\left(\frac{1}{x}\right)^3$ u. s. w. der sie treffenden Lichtmenge durchlassen. Die ganze Atmosphäre über uns wirkt aber wie $\frac{24600}{l}$ solcher Schichten, folglich ist $s = a\left(\frac{1}{x}\right)^{\frac{24600}{l}}$ die Lichtmenge, welche vom Zenith herab zu uns kommt, wenn a die Lichtmenge ist, welche an der oberen Gränze der Atmosphäre in derselben eintritt.

Bei dem eben angeführten Saussure'schen Versuch war

$$\frac{1}{x} = 0{,}9523,$$

$$l = 3274, \text{ also } \frac{24600}{l} = 7{,}5,$$

folglich ist für diesen Fall:

$$s = a \,.\, 0{,}9523^{7{,}5} = a \,.\, 0{,}693,$$

d. h. die Lichtstärke eines im Zenith stehenden Sternes ist bei dem Zustande der Luft, bei welchem der Versuch angestellt wurde, 0,693 von derjenigen, mit welcher wir ihn sehen würden, wenn die Luft absolut durchsichtig wäre, oder wenn wir uns an der oberen Gränze der Atmosphäre befänden.

Wir sehen aus dieser Berechnung, daß selbst bei hellem Himmel an Tagen, wo die Luft sehr klar ist, die Lichtabsorption in der Atmosphäre schon sehr bedeutend ist; sie wächst natürlich, wenn die Luft trüber wird, sie ist um so bedeutender, je größer der Winkel ist, welchen die von den Gestirnen zu uns kommenden Strahlen mit dem Zenith machen. Für einen Stern, dessen Zenithdistanz 60°, 70° u. s. w. ist, ist die Lichtabsorption in der Atmosphäre schon zweimal, dreimal so stark, als für einen Stern, welcher im Zenith steht.

115 **Die allgemeine Tageshelle.** Mag nun die unvollkommene Durchsichtigkeit der Atmosphäre von den Lufttheilchen selbst herrühren, oder durch Wasserdämpfe, durch Staub oder Rauchtheilchen veranlaßt sein, so ist klar, daß jedes Partikelchen, welches einen Theil des auf dasselbe fallenden Lichtes aufhält, Veranlassung zu einer Reflexion und Diffusion von Licht bietet. Diese Reflexion und Diffusion des Lichtes innerhalb der Atmosphäre ist die Ursache der allgemeinen Tageshelle.

Wäre die Luft vollkommen durchsichtig, so könnte sie nicht das mindeste Licht reflectiren, das Himmelsgewölbe müßte uns also, selbst wenn die Sonne über dem Horizonte steht, absolut schwarz erscheinen, und wo die Sonne nicht unmittelbar hinscheint, müßte vollkommene Finsterniß herrschen. Die Reflexion des Lichtes in der Atmosphäre ist aber so stark, daß bei Tage das ganze Himmelsgewölbe mehr oder weniger lebhaft erleuchtet erscheint, so daß die Sterne vor diesem gleichmäßig ausgebreiteten Glanze erbleichen; ja selbst durch das Licht

des Mondes erscheint das Himmelsgewölbe so stark erhellt, daß zur Zeit des Vollmondes nur noch die helleren Sterne sichtbar bleiben.

Diesem durch die Atmosphäre reflectirten Lichte verdanken wir also die allgemeine Tageshelle, durch welche auch an solchen Orten, welche nicht direct den Sonnenstrahlen ausgesetzt sind, also im Schatten, in unseren Zimmern eine gleichmäßig verbreitete Helligkeit herrscht. Je größer die Durchsichtigkeit der Luft ist, desto intensiver ist die unmittelbare Wirkung der Sonnenstrahlen und desto geringer die allgemeine Tageshelle. Bei reiner Luft ist auf dem Gipfel hoher Gebirge der Contrast in der Helligkeit beschatteter Orte und solcher, welche direct den Sonnenstrahlen ausgesetzt sind, viel bedeutender, als es unter sonst gleichen Umständen in der Tiefe der Fall ist.

Die allgemeine Tageshelle ist am größten, wenn der Himmel mit dünnen, faserigen Wölkchen überdeckt ist, weit geringer ist sie bei ganz reinem, blauem Himmel.

Die Farbe des Himmels. Wenn der Himmel nicht durch Wolken oder durch einen Nebelschleier bedeckt ist, so zeigt er bekanntlich eine je nach den Umständen bald hellere, bald dunklere blaue Färbung. 116

Um für die Intensität dieser blauen Färbung eine wenigstens annähernd genaue Messung zu erhalten, construirte Saussure eine Vorrichtung, welche er Cyanometer nannte. Durch Anstreichen mit gutem Berliner-Blau stellte er eine Anzahl von 53 Papieren dar, welche vom reinen Weiß bis zum gesättigten Blau und von diesem durch Zusatz von Tusch bis zum vollkommenen Schwarz eine Reihe gleichförmig fortschreitender Zwischenstufen bildeten. Von diesen Papieren wurden gleichgroße Stücke ausgeschnitten, und diese auf dem Umfang eines Kreises aufgeklebt. Diese 53 Nüancen von Weiß durch Blau zum Schwarz wurden Grade genannt, und die Grade wurden von Weiß anfangend gezählt.

Will man die Farbe an irgend einer Stelle des Himmels bestimmen, so hält man das Cyanometer zwischen das Auge und diese Stelle und sieht, welcher Grad der Färbung des Himmels entspricht. Die Beobachtung muß wo möglich im Freien gemacht werden, damit das Cyanometer hinreichend erleuchtet wird.

Parrot construirte zu dem gleichen Zwecke einen anderen Apparat, den man ein Rotationscyanometer nennen kann; es besteht aus einer weißen und einer schwarzen Scheibe, auf welchen man 1, 2, 3 ... Sectoren von gesättigter blauer Färbung befestigen kann. Durch rasche Umdrehung wird jede Scheibe ein gleichförmiges Ansehen erhalten. Aus der Anzahl der blauen Sectoren, die man auf die weiße oder die schwarze Scheibe bringen muß, um eine dem Blau des Himmels gleiche Färbung zu erhalten, kann man auf den Grad derselben schließen.

Diese beiden Vorrichtungen sind in mancher Beziehung unbequem und mangelhaft. Arago machte den Vorschlag, die blaue Färbung, welche doppeltbrechende Krystallblättchen bei bestimmter Dicke im polarisirten Lichte zeigen, zur Vergleichung mit dem Himmelsblau anzuwenden. Das Blau solcher Krystallblättchen erreicht nämlich seine größte Intensität, wenn das einfallende Licht

vollkommen polarisirt ist; je unvollständiger aber die Polarisation der einfallenden Strahlen ist, desto blasser und mehr dem Weiß sich nähernd wird die blaue Färbung des Blättchens. Aber auch die Herstellung und Ausführung eines auf dieses Princip gegründeten Cyanometers stößt auf mannigfache Schwierigkeiten und es scheint bis jetzt wenigstens das Polarisationscyanometer noch nicht in die Praxis eingetreten zu sein.

Schon eine oberflächliche Betrachtung des heiteren Himmels zeigt uns, daß die blaue Färbung desselben im Zenith am intensivsten ist, und daß sie nach dem Horizont hin mehr und mehr weißlich wird. An einem heiteren Tage fanden Saussure in Genf und Humboldt auf dem Atlantischen Ocean (16° 19′ n. Br.) für die Bläue des Himmels in verschiedenen Höhen über dem Horizonte folgende Werthe:

Höhe.	Cyanometergrade	
	Humboldt.	Saussure.
1°	3,0°	4,0°
10	6,0	9,0
20	10,0	13,0
30	16,5	15,5
40	18,0	17,5
60	22,0	20,0

Auf den Gipfeln hoher Berge erscheint der Himmel weit dunkler als in den Ebenen. So fand Saussure die Färbung des Zeniths auf dem Col du géant gleich 31° seines Cyanometers, während gleichzeitig zu Genf nur 22,5° beobachtet wurden. An einem sehr schönen Tage stieg auf dem Col du géant die Farbe des Zeniths auf 37°; auf dem Gipfel des Montblanc wurden sogar 39° beobachtet.

In wärmeren Ländern ist die Farbe des Himmels tiefer blau als in solchen, welche weiter vom Aequator entfernt liegen; bei gleicher geographischer Breite ist der Himmel der Binnenländer blauer, als auf dem Meere und den Küstenländern, was leicht begreiflich ist, wenn man bedenkt, daß das reine Blau des Himmels besonders durch die in der Luft schwebenden condensirten Wasserdämpfe, durch feine Nebel gebleicht wird, welche den Himmel mit einem leichten Schleier überziehen, ohne doch schon dicht genug zu sein, um Wolken zu bilden.

Während das Blau des Himmels offenbar von dem in der Atmosphäre reflectirten Lichte herrührt, zeigen Lichtstrahlen, welche einen weiten Weg durch die unteren dichteren Schichten des Luftmeeres zurückgelegt haben, eine tief gelbe bis ins Rothe spielende Färbung. Während der Mond, wenn er hoch über dem Horizonte steht, mit einem weißen, ja etwas bläulichen Lichte strahlt,

sehen wir dieses Gestirn oft blutroth aufgehen, und ebenso ist die prachtvolle Erscheinung des Morgen- und Abendrothes ein Beweis dafür, daß die Atmosphäre vorzugsweise orangefarbenen und rothen Strahlen den Durchgang gestattet.

Erklärung der blauen Farbe des Himmels und des Abendrothes. 117 Viele Physiker, und unter diesen besonders Brandes, suchen die blaue Farbe des Himmels und das Abendroth einfach durch die Annahme zu erklären, daß die Luft vorzugsweise die blauen Strahlen reflectire, dagegen aber die gelben und rothen vollständiger durchlasse als alle anderen.

Nach der Meinung von Forbes rührt aber wenigstens die Erscheinung des Abend- und Morgenroths nicht sowohl von der Luft selbst, als vielmehr von dem in der Atmosphäre enthaltenen Wasserdampfe her.

Eines Tages stand Forbes neben einem Dampfwagen, der durch sein Sicherheitsventil eine große Menge Dampf entließ; zufällig sah er durch die aufsteigende Dampfsäule nach der Sonne und war überrascht, sie sehr tief orangeroth gefärbt zu sehen. Später beobachtete er noch öfters dasselbe Phänomen und entdeckte eine wichtige Abänderung desselben. Nahe über dem Sicherheitsventile, zu welchem der Dampf herausblies, war dessen Farbe für durchgehendes Licht das erwähnte tiefe Orangeroth; in größerer Entfernung jedoch, wo der Dampf vollständiger verdichtet war, hörte die Erscheinung gänzlich auf. Selbst bei mäßiger Dicke war die Dampfwolke durchaus undurchdringlich für die Sonnenstrahlen, sie warf einen Schatten wie ein fester Körper; und wenn ihre Dicke gering war, so war sie zwar durchscheinend, aber durchaus farblos. Die Orangefarbe des Dampfes scheint also einer besonderen Stufe der Verdichtung anzugehören. Bei vollkommener Gasgestalt ist der Wasserdampf ganz durchsichtig und farblos, in jenem Uebergangszustande ist er durchsichtig und rauchroth, wenn er aber vollständig zu Nebelbläschen verdichtet ist, so ist er bei geringer Dicke durchscheinend und farblos, bei großer Dicke vollkommen undurchsichtig.

Forbes wendet dies zur Erklärung der Abendröthe an. Als reine, farblose, elastische Flüssigkeit giebt der Wasserdampf der Luft ihre größte Durchsichtigkeit, wie man sie besonders beobachtet, wenn sie nach einem heftigen Regen der Himmel wieder aufhellt. Im Uebergangszustande läßt er die gelben und rothen Strahlen durch und bringt in diesem Zustande die Erscheinungen der Abendröthe hervor.

Diese Theorie erklärt auch sehr gut, daß das Abendroth weit brillanter ist als das Morgenroth; daß Abendroth und Morgengrau die Anzeigen schönen Wetters sind. Gleich nach dem Temperaturmaximum des Tages und vor Sonnenuntergang fangen der Boden und die Luftschichten in verschiedener Höhe an, Wärme durch Strahlung zu verlieren. Bevor sich aber in Folge dessen der Wasserdampf vollständig verdichtet, durchläuft er jenen Uebergangszustand, welcher die Abendröthe erzeugt. Des Morgens ist es anders. Die Dämpfe, welche bei Umkehrung des Processes wahrscheinlich das Roth erzeugt haben würden, steigen nicht eher auf, als bis die Wirkung der Sonne lange genug angehalten hat; alsdann ist aber die Zeit des Sonnenaufgangs vorüber, die Sonne steht schon

hoch am Himmel. Das feurige Ansehen des Morgenhimmels rührt von der Anwesenheit eines so großen Ueberschusses an Feuchtigkeit her, daß durch die Verdichtung in höheren Regionen wirklich Wolken entstehen, im Gegensatze mit der Tendenz der steigenden Sonne, sie zu zerstreuen; das Morgenroth ist deshalb als Vorbote baldigen Regens zu betrachten.

Clausius hat die Rolle, welche der Wasserdampf bei der Färbung des Himmels spielt, näher untersucht (Pogg. Annal. Bd. 76).

Zunächst beweist Clausius, daß die atmosphärische Reflexion weder von feinen, undurchsichtigen, in der Luft schwebenden fremden Partikelchen, noch von massiven Wasserkugeln herrühren könne, sondern daß dieselbe von den zarten in der Luft schwebenden Wasserbläschen abzuleiten sei.

Diese Wasserbläschen verhalten sich nun ganz wie mikroskopische Seifenbläschen; sie werden eine von der Dicke der dünnen Wasserhülle abhängige Farbe reflectiren; bei der geringsten Dicke, bei welcher eine dünne Schicht überhaupt eine Färbung wahrnehmen läßt, zeigt sie das Blau erster Ordnung (Physik, Bd. I., S. 529). Wenn demnach in der Luft nur solche Wasserbläschen schweben, deren Hülle die Dicke nicht überschreitet, welche das Blau erster Ordnung liefert, so müssen sie, nach der Ansicht von Clausius, den Himmel mit dem Blau erster Ordnung überziehen.

Wenn die Luft feuchter wird, so werden die schon vorhandenen Bläschen an Dicke zunehmen, zugleich aber bilden sich von Neuem die feinsten Bläschen, so daß dann von einer bestimmten Gränze der Dicke bis zu den feinsten herab Wasserbläschen von allen Zwischenstufen gleichzeitig in der Luft schweben; es kann deshalb auch der Himmel nicht etwa die Farbe irgend einer dickeren Schicht annehmen, sondern das Zusammenwirken aller weiteren Farben, welche die einzelnen Bläschen etwa noch liefern mögen, kann zusammen nur eine weißliche Farbe hervorbringen, welche das reine Blau des Himmels um so mehr bleicht, je mehr dickere Bläschen den feineren beigemischt sind.

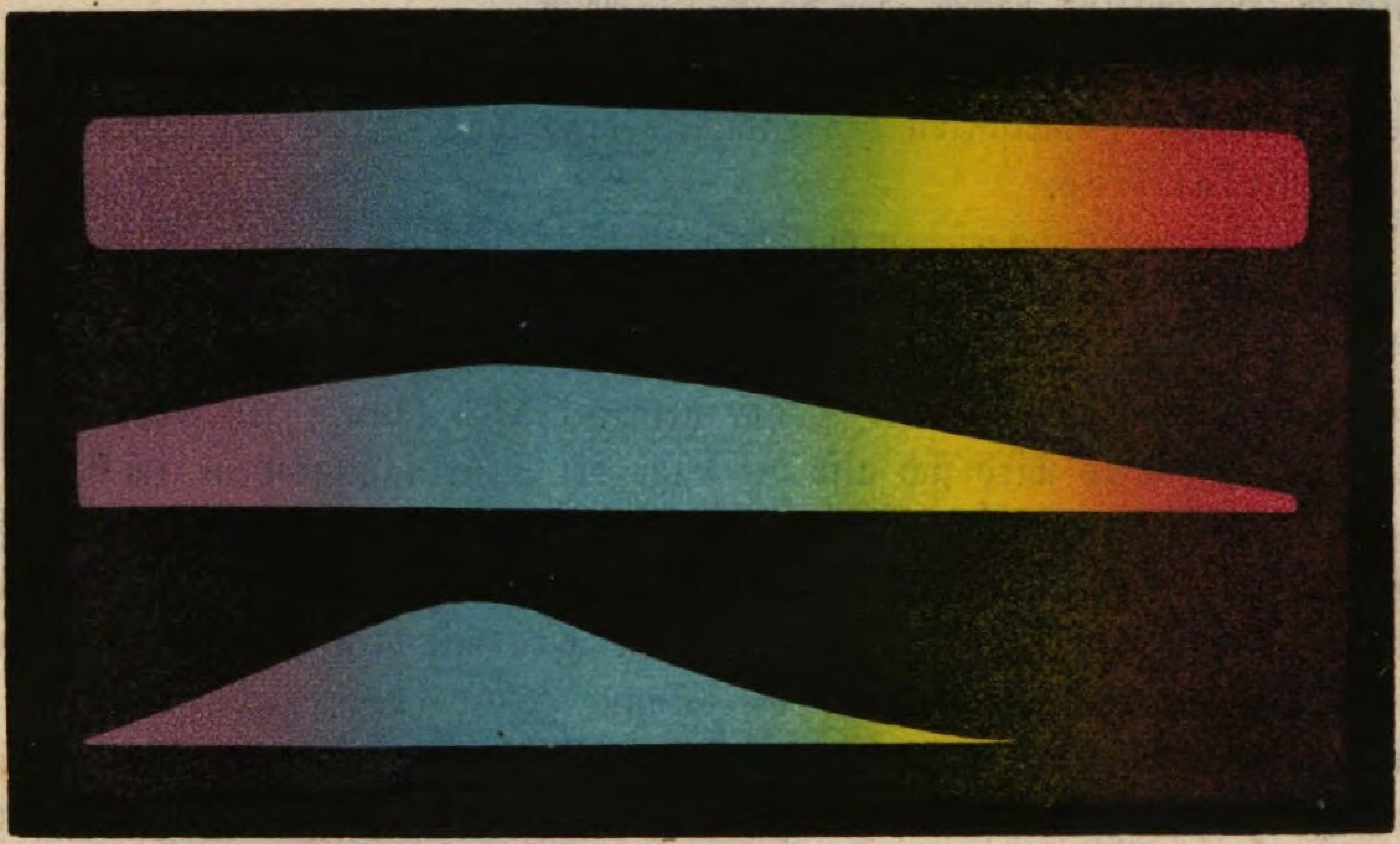
Schon Newton hatte die Ansicht ausgesprochen, daß das Blau des Himmels das Blau erster Ordnung sei, ohne jedoch diese Ansicht weiter auszuführen oder zu begründen, wie dies jetzt von Clausius geschehen ist. Wenn man aber mit Aufmerksamkeit die Farben der Newton'schen Ringe betrachtet, so wird man gestehen müssen, daß in der ganzen ersten Ordnung kein Blau vorkommt, welches sich auch nur entfernt mit dem prachtvollen Blau des Himmels vergleichen ließe. Das Blau erster Ordnung ist ein, nur wenig ins Blaue spielendes Weiß; das Schwarz des centralen Fleckes geht durch ein bläuliches Grau in bläuliches Weiß und dieses in Gelblichweiß über. Von dieser Seite also scheint die Theorie von Clausius wohl einer Ergänzung zu bedürfen, um mit den vorliegenden Thatsachen in Uebereinstimmung gebracht zu werden; zu einer solchen Uebereinstimmung glaube ich aber auf folgendem Wege gelangen zu können.

Der oberste Streifen in Fig. 167 zeigt nach der in meinem Lehrbuche der Physik näher erörterten Weise, wie das Blau erster Ordnung zusammengesetzt ist. Während das Blau vollständig reflectirt wird, bleibt von dem zum reinen Weiß gehörigen Violett noch 0,96, von dem zum reinen Weiß gehörigen Roth noch

0,83 übrig. Man sieht nun leicht ein, daß in dem Blau erster Ordnung von allen Farben des Spectrums noch so viel übrig bleibt, daß ein entschiedenes Vorherrschen von Blau unmöglich ist.

Wenn aber das Blau erster Ordnung, welches von einem ersten Wasser-

Fig. 167.



bläschen reflectirt wird, auf ein zweites fällt, so wiederholt sich derselbe Vorgang. Bezeichnen wir die Intensität des von dem zweiten Wasserbläschen reflectirten Blau mit 1, so ist die Intensität des vom zweiten Bläschen reflectirten Violett nur noch $0{,}96^2$ und des vom zweiten Bläschen reflectirten Roth nur noch $0{,}83^2$.

So wird denn bei jeder folgenden Reflexion von einem solchen feinen Wasserbläschen der Antheil aller übrigen Farben, welche das Vorherrschen des Blau abschwächen können, mehr und mehr verringert. Bezeichnen wir die Intensität des Blau nach zehnmaliger Reflexion (d. h. nachdem die Lichtstrahlen der Reihe nach von zehn Wasserbläschen reflectirt worden sind, deren jedes für sich im weißen Lichte Blau der ersten Ordnung zeigt) mit 1, so ist die Intensität des Violett nach zehnmaliger Reflexion nur noch $0{,}96^{10} = 0{,}66$ und die des Roth nur noch $0{,}83^{10} = 0{,}15$.

Der mittlere Streifen in Fig. 167 zeigt die Zusammensetzung der Farbe, welche von dem ursprünglich weißen Lichte bleibt, nachdem es der Reihe nach von zehn Bläschen reflectirt worden ist, von welchen jedes für sich allein im weißen Lichte das Blau erster Ordnung zeigt. In gleichem Sinne stellt der unterste Streifen in Fig. 167 das Blau erster Ordnung nach 100maliger Reflexion dar.

Man sieht nun leicht, wie durch wiederholte Reflexion des Lichtes auf dünnen Wasserbläschen, von denen jedes einzelne nur ein ganz blasses weißliches Blau liefern würde, eine sehr intensive blaue Färbung entstehen kann, und somit dürfte wohl das Blau des Himmels, wenn auch kein einfaches, doch ein gewissermaßen *potenzirtes* Blau erster Ordnung sein.

118 **Polarisation des blauen Himmels.** Daß das Licht des blauen Himmels polarisirt ist, hat zuerst Arago beobachtet. Man kann sich von dieser Polarisation leicht überzeugen, wenn man durch ein Nicol'sches Prisma oder durch eine parallel mit der Axe geschnittene Turmalinplatte nach irgend einer Stelle des blauen Himmels hinschaut und dann das Prisma um seine Axe oder die Turmalinplatte in ihrer Ebene umdreht; man sieht auf diese Weise das Gesichtsfeld abwechselnd heller oder dunkler werden.

Noch besser als mit einem Nicol'schen Prisma oder einer Turmalinplatte erkennt man die Polarisation des Himmels durch das bereits auf Seite 232 erwähnte Polariskop.

Den Polarisationsgesetzen entsprechend ist die Schwingungsebene der Strahlen, welche uns irgend eine Stelle des blauen Himmels zusendet, stets rechtwinklig zu der Ebene, welche man sich durch die betrachtete Stelle des Himmels, das Auge des Beobachters und die Sonne gelegt denken kann. An jeder einzelnen Stelle des Himmels wird sich also die Lage der Schwingungsebene im Laufe des Tages allmälig ändern, je nachdem die Sonne in ihrer täglichen Bewegung fortschreitet. So wird z. B. für den Nordpol des Himmels die Schwingungsebene Morgens um 6 Uhr vertical sein, d. h. sie wird mit dem Meridian des Beobachters zusammenfallen; je mehr die Sonne steigt, desto mehr neigt sich die Schwingungsebene den polarisirten Strahlen, welche uns der Nordpol des Himmels zusendet, und Mittags 12 Uhr ist die Schwingungsrichtung dieser Strahlen horizontal. Des Nachmittags schreitet die Drehung der Polarisationsebene der vom Nordpol des Himmels kommenden Strahlen in gleicher Richtung fort, so daß sie Abends 6 Uhr wieder vertical steht.

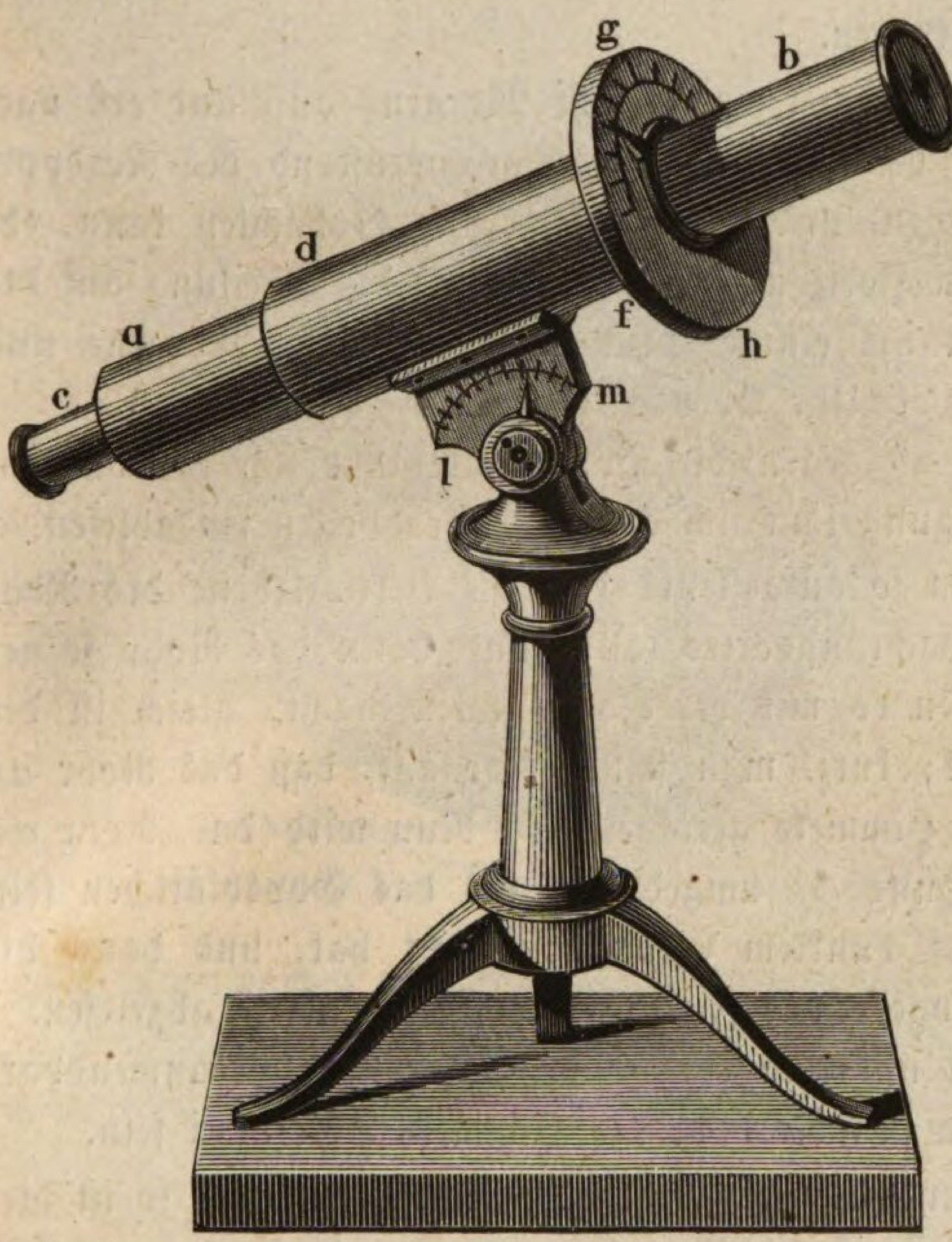
Eine sehr sinnreiche Anwendung dieser Verhältnisse ist Wheatstone's Polaruhr, ein Instrument, mittelst dessen man aus dem Polarisationszustande des Nordpols des Himmels die Zeit bis auf einige Minuten genau ermitteln kann. Der wesentlichste Theil des Instrumentes ist ein Polariskop, also ein Nicol'sches Prisma, welches mit einem dünnen Gypsblättchen so verbunden ist, daß die Schwingungsebene des Nicols die Schwingungsebene der beiden Strahlen im Gypsblättchen halbirt. Schaut man durch eine solche Combination, das Nicol dicht vor das Auge haltend, nach dem Nordpol des Himmels, so wird die Farbe in welcher das Gypsblättchen erscheint, sich ändern, je nachdem man die ganze Vorrichtung um die Axe des Nicols dreht. Bei einer bestimmten Stellung zeigt das Gypsblättchen ein Maximum von Farbenglanz auf dunklem Grunde.

Diese Stellung ändert sich aber mit der Zeit, auf welche man aus dem Winkel schließen kann, welchen die Schwingungsebene des Nicols mit der Horizontalen macht, wenn eben das Gypsblättchen so erscheint, wie es zwischen den gekreuzten Spiegeln des Polarisationsapparates der Fall sein würde.

Man sieht wohl ein, daß man nach diesen Andeutungen eine Polaruhr in mancherlei Formen herrichten kann. Eine ziemlich einfache und zweckmäßige Einrichtung der Art dürfte die Fig. 168 in $^1/_3$ der natürlichen Größe abgebildete sein.

Das Rohr *ab*, dessen Länge ungefähr 10 Zoll beträgt, ist um seine Axe innerhalb einer Hülse *df* drehbar, welche an ihrem oberen Ende einen getheilten Kreis *gh* trägt, den wir den Stundenkreis nennen wollen. Am unteren Ende der Röhre *ab* ist das Nicol'sche Prisma *c* angebracht, während das entgegengesetzte Ende der Röhre durch zwei Glasplatten verschlossen wird, zwischen denen ein dünnes Gypsblättchen eingekittet ist. Die Axen desselben müssen die bereits bezeichnete Stellung zu der Schwingungsebene des Nicols haben.

Fig. 168.

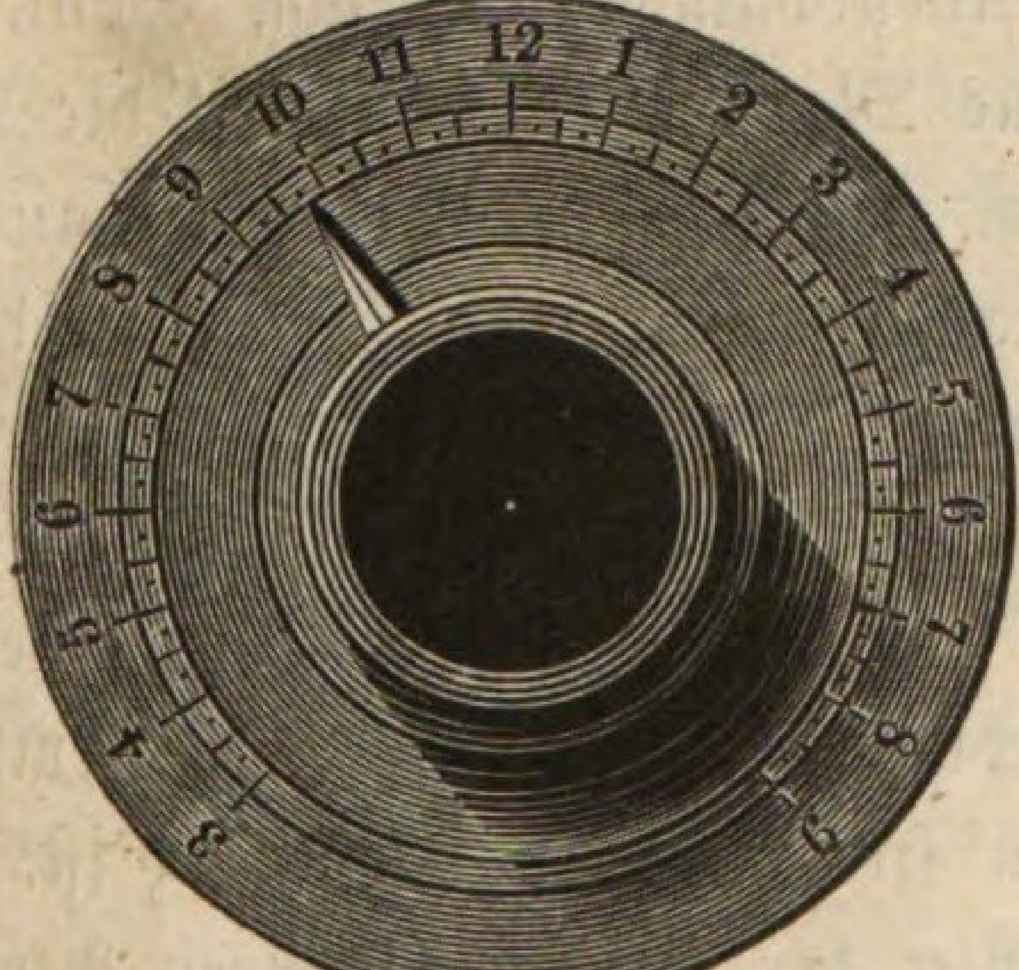


Am einfachsten verwendet man zu diesem Zweck ein kleines, durch Spaltung erhaltenes, parallelogrammatisches Gypsblättchen (Lehrbuch der Physik, 4te Aufl. Bd. I. Seite 584), dessen große Diagonale 1 bis $1^1/_2$ Centimeter beträgt.

An dem Rohre *ab* ist ein Ring befestigt, welcher einen Zeiger trägt, und welcher auf dem Kreise *gh* aufsitzt. Dieser Zeiger nimmt also an der Drehung der Röhre *ab* Theil und bewegt sich dabei über die Theilung des Stundenkreises *gh* hinweg. Die Richtung des Zeigers fällt mit der kleinen Diagonale des Nicols, also mit der Schwingungsebene desselben zusammen.

Der Kreis *gh* ist in Stunden und Unterabtheilungen derselben, etwa bis auf Viertelstunden eingetheilt; denn große Genauigkeit kann man von einer Polaruhr doch nicht erwarten.

Fig. 169.



Der Deutlichkeit wegen ist Fig. 169 der Stundenkreis *gh* mit seiner Theilung sammt der von der Seite des Gypsblättchens her gesehenen Röhre *ab* und dem Zeiger unverkürzt und in doppeltem Maßstab der Figur 168 dargestellt.

Die beiden Theilstriche, welche in die durch den Mittelpunkt der Theilung gelegte Horizontale fallen, sind mit 6 bezeichnet;

von demjenigen dieser beiden Punkte, welcher bei richtiger Aufstellung des Instrumentes auf der Ostseite liegt, sind die Stunden von 6 weiter gezählt bis zum obersten Theilstrich der Theilung, welcher mit 12 bezeichnet ist; auf dem folgenden Quadranten von 12 bis zum westlichen 6 sind dann die Nachmittagsstunden 1, 2, 3 u. s. w. aufgetragen.

Da aber die Sonne im Sommer vor 6 Uhr Morgens auf- und erst nach 6 Uhr Abends untergeht, und da man den Polarisationszustand des Nordpols des Himmels schon in der Morgen- und Abenddämmerung beobachten kann, ehe noch die Sonne selbst über dem Horizont steht, so beginnt die Theilung auf der Ostseite des Kreises auch schon um einige Stunden vor 6 Uhr Morgens und ist bis auf einige Stunden nach 6 Uhr Abends fortgesetzt.

Die Neigung des Rohrs *ab* gegen die Horizontale läßt sich beliebig ändern und die Größe dieser Neigung läßt sich auf dem Gradbogen *lm* ablesen.

Das Instrument wird nun so aufgestellt, daß die Verticalebene des Rohres in den Meridian des Beobachtungsortes fällt, und dann das Rohr so geneigt, daß der Winkel, welchen es mit der Horizontalen macht, gleich ist der Polhöhe des Beobachtungsortes; kurz, man stellt es so auf, daß das Rohr *ab* gerade gegen den Nordpol des Himmels gerichtet ist. Nun wird das Rohr *ab* um seine Axe innerhalb der Hülse *df* umgedreht, bis das Gypsblättchen sein Maximum von Farbenglanz auf dunklem Grunde erreicht hat, und dann die entsprechende von dem Zeiger angedeutete Zeit auf dem Stundenkreise abgelesen.

Bei bewölktem Himmel ist natürlich eine solche Polaruhr nicht anwendbar; wenigstens muß die Gegend um den Nordpol des Himmels wolkenfrei sein.

Was die Stärke der Polarisation des blauen Himmels anlangt, so ist dieselbe keineswegs überall gleich; sie ist ein Maximum in einem Abstande von 90° von der Sonne.

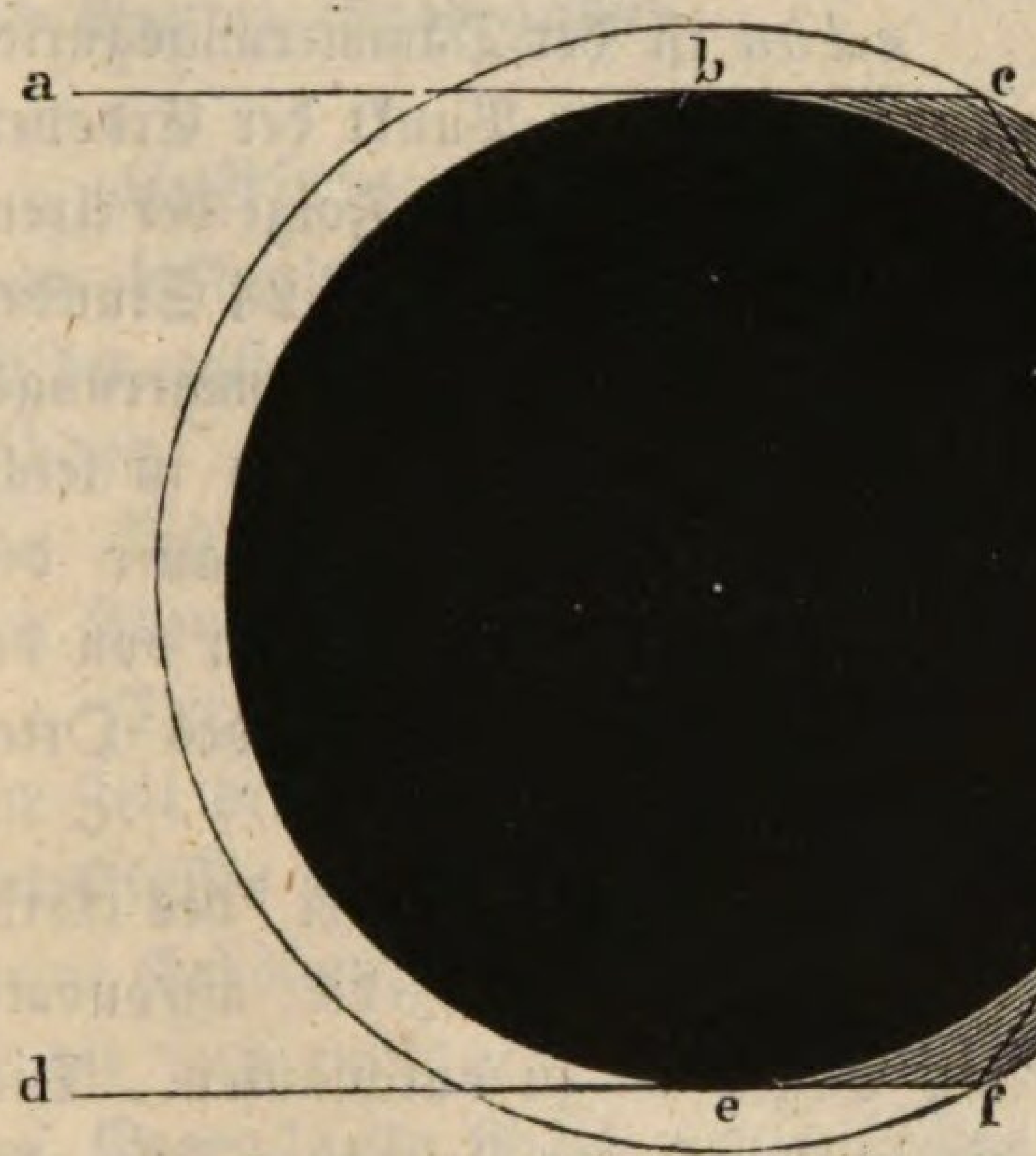
119 **Die Dämmerung.** Wenn die Luft absolut durchsichtig wäre, so müßte gleich nach Sonnenuntergang eine vollständige Finsterniß eintreten; allein vor Sonnenaufgang sowohl als auch nach Sonnenuntergang wird über die Erdoberfläche eine namhafte Zeit hindurch eine ziemliche Helligkeit verbreitet, welche lediglich von einer Reflexion und Diffusion des Lichtes in der Atmosphäre herrührt.

Man rechnet gewöhnlich die Dauer der Abenddämmerung von Sonnenuntergang bis zu der Zeit, zu welcher man aus Mangel an Helligkeit die Arbeiten im Freien einstellen muß, oder bis zu dem Zeitpunkt, in welchem man in einem ziemlich freiliegenden Hause die Kerzen anzuzünden pflegt. Es ist dies der Fall, wenn die Sonne ungefähr bis zu 6° unter den Horizont hinabgesunken ist. Die astronomische Dämmerung dauert aber länger als die eben definirte bürgerliche; sie dauert nämlich bis zu der Zeit, in welcher der letzte Schein der Helligkeit am westlichen Himmel verschwindet, und dies ist so ziemlich der Fall, wenn die Sonne bis zu 18° unter den Horizont hinabgesunken ist.

Fig. 170 stelle einen centralen Durchschnitt der Erde und ihrer Atmosphäre dar; *ac* und *df* seien Sonnenstrahlen, welche den festen Erdkern in zwei

diametral einander gegenüberstehenden Punkten berühren, so ist klar, daß *bcrfe* derjenige Theil der Atmosphäre ist, welcher nicht von den Sonnenstrahlen getroffen wird. Denken wir uns von den äußersten noch von der Sonne erleuchteten Punkten *c* und *f* der Atmosphäre die Tangenten *ch* und *fg* an die Erdkugel gezogen, so sind *g* und *h* diejenigen Punkte, bis zu welchen sich die astronomische Dämmerung erstreckt; denn für alle Punkte der Erdoberfläche zwischen *b* und *h* sowohl, wie zwischen *e* und *g*, befindet sich noch ein Theil der von den Sonnenstrahlen erleuchteten Atmosphäre über dem Horizont. In unserer Figur ist nun die Atmosphäre im Verhältniß zum Durchmesser der Erde viel zu hoch angenommen worden, und deshalb ist nun auch der Dämmerungsbogen *bh* in der Zeichnung viel größer ausgefallen, als er in der Wirklichkeit ist; denn in der That beträgt, wie wir oben gesehen haben, die Größe dieses Bogens nur ungefähr 18⁰.

Fig. 170.



Die Gränze zwischen dem noch durch Sonnenstrahlen direct erleuchteten und dem im Schatten befindlichen Theile der Atmosphäre ist natürlich eben so wenig genau bestimmbar, wie die obere Gränze der Atmosphäre überhaupt; doch läßt sich aus dem mittleren Werth des Dämmerungsbogens wenigstens annähernd die Höhe der Atmosphäre bestimmen; aus einem Dämmerungsbogen von 18⁰ ergiebt sich nämlich für die Atmosphäre eine Höhe von ungefähr 9 geographischen Meilen; über diese Höhe hinaus ist wenigstens die Atmosphäre schon in einem solchen Grade verdünnt, daß sie keine merkliche Reflexion des Lichtes mehr bewirken kann.

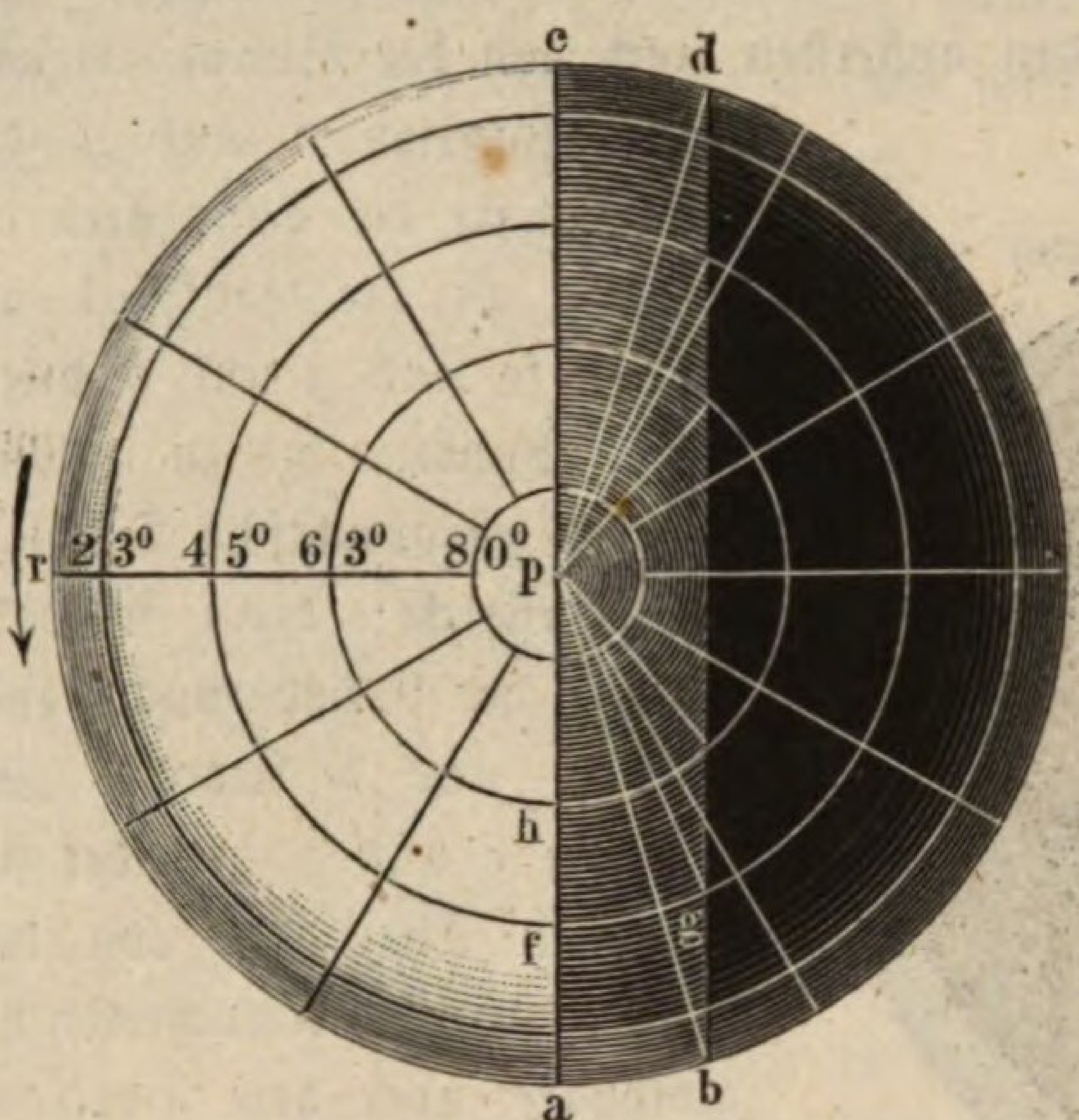
Die Dauer der Dämmerung ist für verschiedene Gegenden der Erde sehr ungleich; unter dem Aequator ist sie am kürzesten, sie wird um so länger, je mehr man sich den Polen nähert.

Die Fig. 171 (a. f. S.) dient, um diese Verhältnisse anschaulicher zu machen; sie stellt nämlich die Erdkugel in ihren Beleuchtungsverhältnissen zur Zeit der Tag- und Nachtgleiche dar.

Der Kreis *csar* ist der Erdäquator, welcher mit der Ebene des Papiers zusammenfällt; *p* ist der Nordpol der Erde; die Erdaxe ist zum Punkte verkürzt. Die in unserer Figur gezogenen concentrischen Kreise stellen die Parallelkreise von 23⁰, 45⁰, 63⁰ und 80⁰ nördlicher Breite dar. Der zur Linie verkürzte größte Kreis *cpa* ist derjenige, welcher die direct erleuchtete von der beschatteten Erdhälfte trennt (wobei der Einfluß der atmosphärischen Refraction unberück-

sichtigt geblieben ist). Macht man den Bogen *cd* gleich 18°, zieht man *db* parallel mit *ca*, so ist der zur Linie verkürzte Kreis *db* derjenige, bis zu welchem sich die astronomische Dämmerung erstreckt; *cdba* ist der Dämmerungsgürtel.

Fig. 171.



Ein jeder Punkt der Erdoberfläche geht nun in Folge der Axendrehung der Erde in 24 Stunden zweimal durch diesen Dämmerungsgürtel hindurch, und es ist leicht einzusehen, daß die Dauer des Verweilens in demselben von der geographischen Breite des Ortes abhängig ist.

Für einen Punkt des Erdäquators dauert die astronomische Dämmerung so lange, als er braucht, den Bogen *ab* zu durchlaufen. Dieser Bogen beträgt aber 18°; folglich ist die entsprechende Zeitdauer 72′ oder 1 Stunde 12 Minuten.

Für einen Ort, welcher auf dem 45. Breitengrade liegt, dauert die astronomische Dämmerung so lange, als er braucht, um den Bogen *fg* zu durchlaufen, also nahezu 2 Stunden, da der Winkel *fpg* gleich 30° ist.

Auf dieselbe Weise ergiebt sich, daß für den 63. Breitengrad die Dauer der astronomischen Dämmerung ungefähr 3 Stunden beträgt.

Ein Ort auf dem 80. Breitengrade gelangt gar nicht mehr bis an die Nachtgränze des Dämmerungsgürtels; zur Zeit des Aequinoctiums beträgt also für ihn die Dauer der Dämmerung volle 12 Stunden.

Die Dauer der bürgerlichen Dämmerung beträgt ungefähr $^1/_3$ von der der astronomischen; die bürgerliche Dämmerung betrüge demnach zur Zeit des Aequinoctiums:

auf dem Aequator etwas über $^1/_3$ Stunde,
auf dem 45. Breitengrade ungefähr $^2/_3$ Stunde,
auf dem 63. Breitengrade ungefähr 1 Stunde,
auf dem 72. Breitengrade ungefähr 2 Stunden.

Der Unterschied in der Dämmerungsdauer für verschiedene Breiten ist aber in der That noch größer, als er sich aus den eben durchgeführten Betrachtungen ergiebt, weil das Ende der Dämmerung nicht allein durch die Tiefe der Sonne unter dem Horizonte, sondern auch durch den Zustand der Atmosphäre bedingt ist. Je durchsichtiger und reiner die Luft, desto kürzer ist die Dämmerung, während sie durch zarte in der Höhe schwebende Nebel verlängert wird. So ist denn für einen und denselben Ort die Dauer der Dämmerung sehr veränderlich. Diejenigen Gegenden, welche sich eines tief blauen Himmels erfreuen,

werden eine verhältnißmäßig kurze Dämmerung haben. In Chili dauert die Dämmerung nur 1/4 Stunde, zu Cumana ist sie noch kürzer.

Wir haben oben die Dämmerungsverhältnisse für die Zeit der Aequinoctien betrachtet; im Sommer sowohl als im Winter wird, wie sich durch eine einfache geometrische Betrachtung nachweisen läßt, die Dämmerungsdauer für alle Breiten etwas größer.

Luftspiegelung. Wenn man entfernte Gegenstände betrachtet, so sieht 120
man bisweilen noch gerade, schiefe oder umgekehrte Bilder derselben. Diese Bilder, welche ohne sichtbaren Spiegel hervorgebracht werden, nennt man Luftbilder.

Wir wollen uns zunächst mit dieser Erscheinung beschäftigen, wie sie in den Ebenen von Aegypten beobachtet wird.

Der Boden von Niederägypten bildet eine weite Ebene, über welcher sich zur Zeit der Ueberschwemmung die Gewässer des Nils verbreiten. An den Ufern des Flusses und bis auf eine große Entfernung gegen die Wüste hin sieht man kleine Erhöhungen, auf welchen sich Gebäude und Dörfer erheben. Gewöhnlich ist die Luft ruhig und rein. Wenn die Sonne aufgeht, erscheinen alle entfernten Gegenstände scharf und deutlich; sobald aber die Tageshitze merklich, der Boden durch die Sonnenstrahlen erhitzt wird und die unteren Luftschichten an dieser hohen Temperatur Theil nehmen, so entsteht in der Luft eine Art zitternder Bewegung, welche dem Auge sehr merklich ist und welche auch in unseren Gegenden an heißen Sommertagen beobachtet wird. Wenn nun kein Wind geht und die Luftschichten, welche auf dem Boden ruhen, unbeweglich bleiben, während sie durch die Berührung mit dem Boden erhitzt werden, so entwickelt sich das Phänomen der Luftspiegelung in seiner ganzen Pracht. Der Beobachter, welcher nach der Ferne schaut, sieht noch das directe Bild aller Erhöhungen, der Dörfer, kurz aller hohen Gegenstände; unterhalb derselben sieht er aber ihr verkehrtes Bild, ohne den Boden sehen zu können, auf welchem sie sich erheben; alle diese Gegenstände erscheinen ihm also, als ob sie sich mitten in einem ungeheuren See befänden. Diese Erscheinung wurde während der französischen Expedition in Aegypten oft beobachtet, sie war für die Soldaten ein ganz neues Schauspiel und eine grausame Täuschung. Wenn sie aus der Ferne den Reflex des Himmels, das verkehrte Bild der Häuser und Palmbäume sahen, so konnten sie nicht zweifeln, daß alle diese Bilder durch die Oberfläche eines Sees gespiegelt seien. Ermüdet durch forcirte Märsche, durch die Sonnenhitze und eine mit Sand beladene Luft, liefen sie dem Ufer zu, aber dieses Ufer floh vor ihren Augen; es war die erhitzte Luft der Ebene, welche das Ansehen von Wasser hatte und welche das Spiegelbild des Himmels und aller erhabenen Gegenstände der Erde zeigte. Die Gelehrten, welche die Expedition begleiteten, waren ebenfalls, wie das ganze Heer, getäuscht; aber die Täuschung war von kurzer Dauer.

In dem englischen Reisewerk: „Scenes in Ethiopia drawn and described by J. M. Bernatz, London 1852", finden sich ausgezeichnete bild-

liche Darstellungen dieses merkwürdigen Phänomens, welches auch im südlichen Theil von Abyssinien häufig gesehen wird. Tab. XV ist die Copie eines solchen Luftspiegels, welchen Bernatz im Thal Dullul beobachtete. Das ganze 3 bis 4 englische Meilen breite und 18 Meilen lange Thal erschien wie mit einem herrlichen See bedeckt, aus dessen Mitte eine Felseninsel hervorragte.

Karavanen, welche durch das Thal dahinziehen, sind durch den Luftspiegel ganz unsichtbar, und wenn sie sich dem Rande des scheinbaren Sees nähern, sieht es aus, als ob sie förmlich im Wasser wateten, indem der obere Theil der Körper der Thiere und Menschen über den Spiegel auftaucht, während der untere Theil noch unsichtbar bleibt.

Der Luftspiegel verschwand, wie Bernatz berichtet, wenn ein Wolkenschatten über denselben hinzog, und das ganze Thal sammt allen dasselbe umgebenden Bergen erschienen alsdann in ihrem natürlichen Zustande; sobald er aber vorüber war und die Sonne wieder schien, zeigte sich die Luftspiegelung wieder in voller Klarheit.

Bernatz machte ferner die interessante Beobachtung, daß der Luftspiegel steigt, wenn der Beobachter auf den Bergen, welche das Thal einschließen, hinaufsteigend sich mehr und mehr über die Thalsohle erhebt, so daß endlich der ganze Felsen, welchen wir in der Mitte unseres Bildes sehen, vollkommen unter den Luftspiegel untertaucht und für das Auge verschwindet.

Folgendes ist die Erklärung, welche Monge von diesen Luftbildern gegeben und in den „Mémoires de l'Institut d'Egypte“ bekannt gemacht hat:

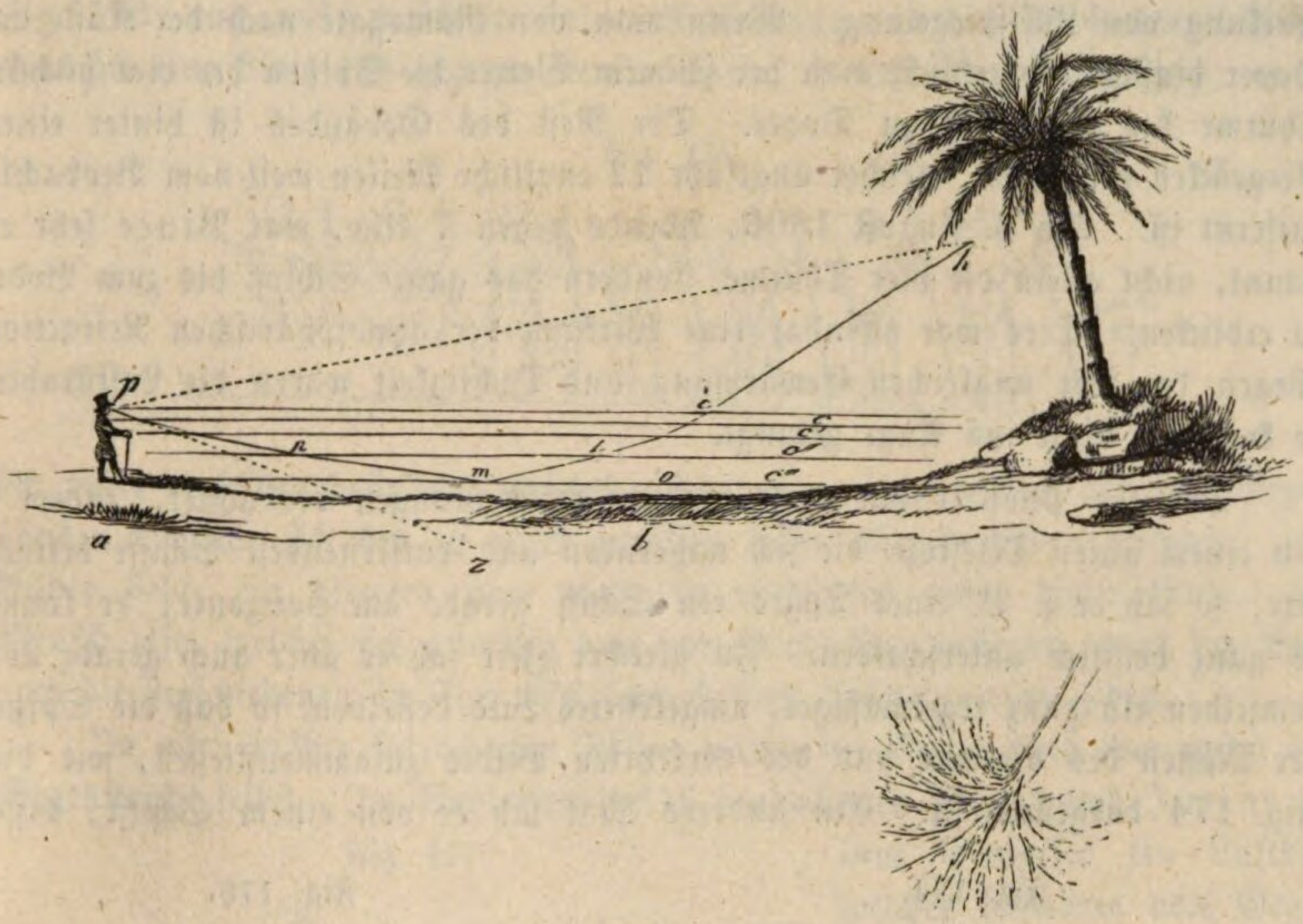
Bei starker Sonnenhitze und ruhiger Luft ist es möglich, daß die unteren Luftschichten, welche, von dem Boden erhitzt, eine geringere Dichtigkeit besitzen als die höheren kälteren, ruhig auf dem Boden ausgebreitet bleiben und nicht aufsteigen. Dies vorausgesetzt, sei *ab*, Fig. 172, der horizontale Boden, *h* irgend ein erhabener Punkt. Wir wollen nun untersuchen, auf welche Weise das Licht von *h* in das Auge des in *p* befindlichen Beobachters gelangen kann. Zunächst ist klar, daß das Auge ein directes Bild des Punktes *h* in der Richtung *ph* sieht; die Strahlen werden zwar nicht in einer absolut geraden Linie von *h* nach *p* gelangen, weil die Luft nicht überall gleiche Dichtigkeit hat, sie werden aber doch nur eine unbedeutende Ablenkung erleiden, wodurch höchstens einige Unregelmäßigkeit in den Contouren des directen Bildes entstehen kann.

Unter den Strahlen, welche der Punkt *h* nach allen Richtungen aussendet, sind aber auch solche, welche den Weg *hilmnp* verfolgen und welche also in der Richtung *pz* in's Auge gelangend ein verkehrtes Bild des Gegenstandes geben. In der That wird der Strahl *hi*, wenn er auf die weniger dichte Luftschicht *c* trifft, so gebrochen werden, daß er sich vom Einfallslothe entfernt; ebenso wird er sich wieder vom Einfallslothe entfernen, wenn er auf die nächste, abermals weniger dichte Luftschicht trifft u. s. w. So wird denn die Richtung der Strahlen immer schräger, bis sie endlich aus der Schicht, in welcher sie sich befinden, nicht mehr in eine noch dünnere übergehen können; sie werden reflectirt und gelangen in der Richtung *mnp* in das Auge.

In unserer Figur ist der Weg der Strahlen als eine gebrochene Linie ge-

zeichnet worden; da aber die Dichtigkeit der Luftschichten nach dem Boden hin allmälig abnimmt, so werden auch die Strahlen allmälig abgelenkt werden und eine krumme, nicht eine gebrochene Linie bilden.

Fig. 172.



Der folgende Versuch mag dienen, diese Erklärung zu erläutern, obgleich er nur eine schwache Nachahmung der Luftspiegelung ist. Es sei *cc*, Fig. 137, ein Kasten von Eisenblech, ungefähr 1 Meter lang, 14 bis 18 Centimeter hoch und breit; er wird mit glühenden Kohlen gefüllt und ungefähr in die Höhe

Fig. 173.



des Auges gebracht. Wenn man nun oben über den Kasten hinsieht, so erblickt man in der Richtung *pm* das directe, in der Richtung *pm'* aber das verkehrte Bild eines entfernten Visirpunktes *m*. An den Seitenwänden des Kastens kann man dieselbe Erscheinung beobachten.

Wollaston hat noch einen anderen Versuch ausgesonnen, um solche Bilder in Flüssigkeiten hervorzubringen. Man gieße in ein rundes oder vier=eckiges Gefäß von Krystallglas zwei passende Flüssigkeiten über einander, welche ungleiche Dichtigkeit haben und welche sich an der Gränzfläche allmälig mit ein=ander verbinden, wie Wasser und Schwefelsäure, Wasser und Weingeist, Wasser und Zuckersyrup u. s. w.; sieht man über die Gränzfläche hinweg, etwa nach

einer auf die Außenseite des Glases gemalten Schrift, so sieht man von derselben ein aufrechtes und ein verkehrtes Bild.

Auch an anderen Orten und unter anderen Umständen werden oft Luftbilder beobachtet. So beobachtete z. B. Vince in Ramsgate eine merkwürdige Wirkung von Luftspiegelung. Wenn man von Ramsgate nach der Küste von Dover hinsieht, so erblickt man bei schönem Wetter die Spitzen der vier höchsten Thürme des Schlosses zu Dover. Der Rest des Gebäudes ist hinter einem Bergrücken verborgen, welcher ungefähr 12 englische Meilen weit vom Beobachter entfernt ist. Am 6. August 1806, Abends gegen 7 Uhr, war Vince sehr erstaunt, nicht allein die vier Thürme, sondern das ganze Schloß bis zum Boden zu erblicken. Dies war offenbar eine Wirkung der atmosphärischen Refraction. Wegen der sehr ungleichen Erwärmung und Dichtigkeit waren die Luftstrahlen in krummer Linie ins Auge gelangt.

Derselbe Physiker hat noch ähnliche Erscheinungen beobachtet, indem er mit einem guten Teleskope die sich nähernden und entfernenden Schiffe betrachtete; so sah er z. B. eines Tages ein Schiff gerade am Horizonte; er konnte es ganz deutlich unterscheiden. Zu gleicher Zeit sah er aber auch gerade über demselben ein ganz regelmäßiges, umgekehrtes Bild desselben, so daß die Spitzen der Masten des directen und des verkehrten Bildes zusammenstießen, wie dies Fig. 174 dargestellt ist. Ein anderes Mal sah er von einem Schiffe, dessen

Fig. 174.

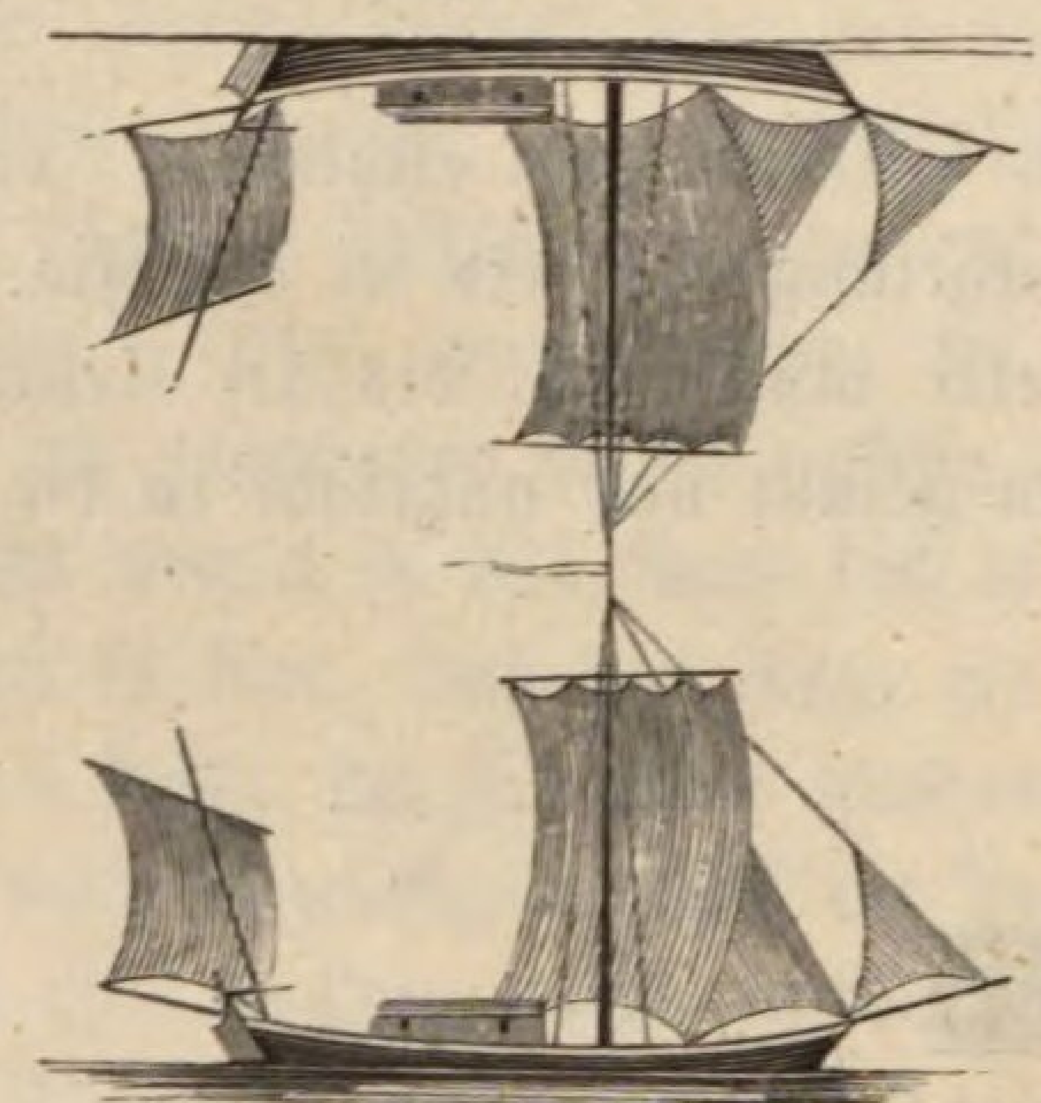
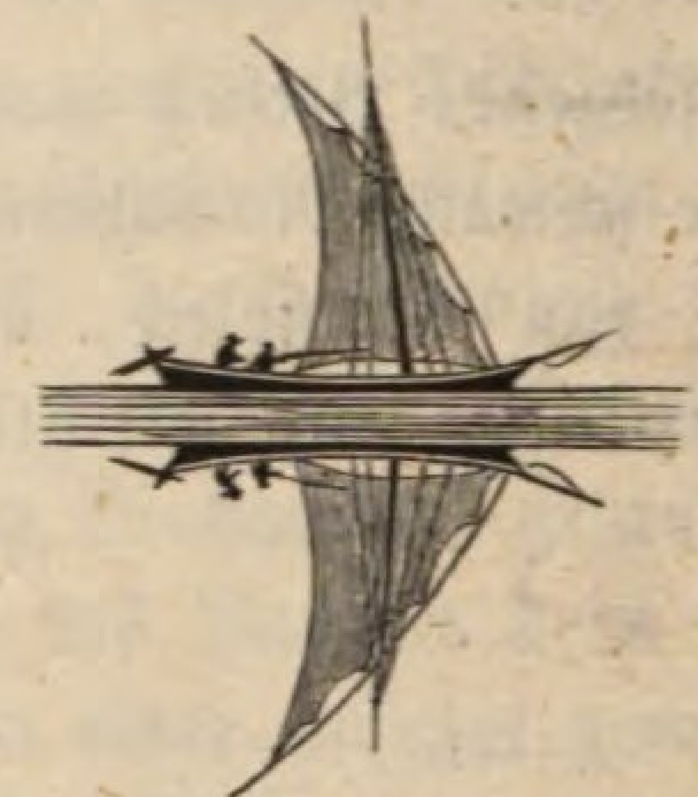


Fig. 175.

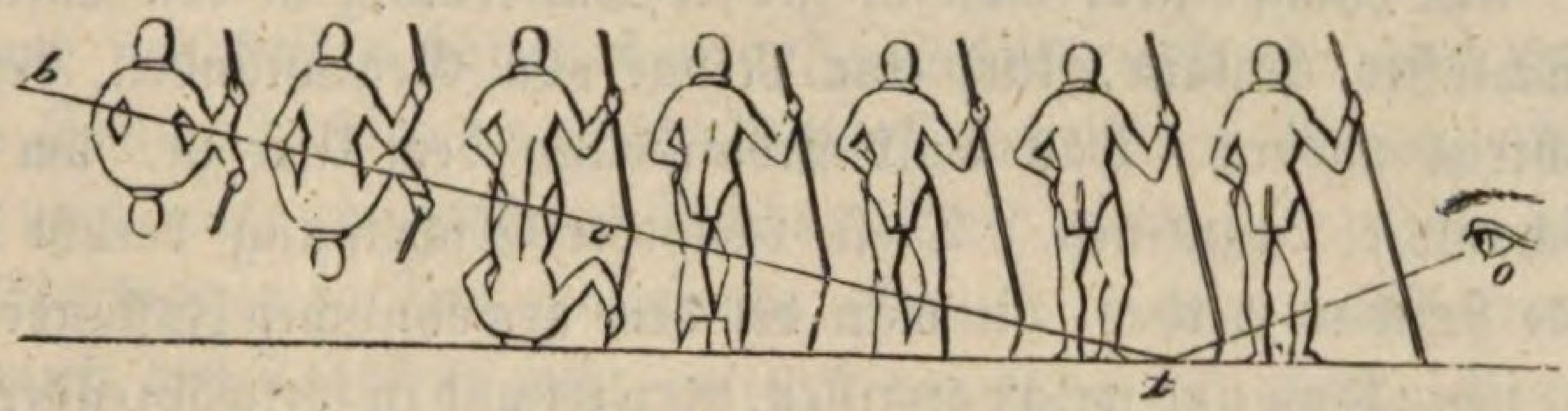


Masten erst über dem Horizonte waren, zwei vollständige Bilder, Fig. 175, ein aufrechtes und ein verkehrtes.

Solche Erscheinungen der ungewöhnlichen Brechung und Luftspiegelung, welche auf dem Meere öfter beobachtet werden, sind unter dem Namen der Erhebung oder des Seegesichtes bekannt. Scoresby hatte in den grönländischen Meeren häufig Gelegenheit, sie wahrzunehmen. Bald sah er entfernte Schiffe in verticaler Richtung verlängert oder zusammengedrückt, bald sah er doppelte Bilder, ein aufrechtes und ein verkehrtes, von Schiffen, welche in einer Entfernung von 30 Seemeilen, also noch vollständig unter dem Horizonte waren. Alle diese Erscheinungen rühren nur von der ungleichen Temperatur und Dichtigkeit der verschiedenen Luftschichten her.

Biot und Mathieu haben bei Dünkirchen am Ufer des Meeres auf einer sandigen Ebene, welche sich bis zum Fort Risban erstreckt, ähnliche Erscheinungen beobachtet, und Biot hat eine vollständige Erklärung derselben gegeben. Er hat gezeigt, daß unter gewissen Umständen von einem Punkte *t*, Fig. 176, aus, welcher sich in einiger Entfernung von dem Beobachter befindet, man sich eine Linie *tcb* gezogen denken kann, so daß alle Gegenstände, welche

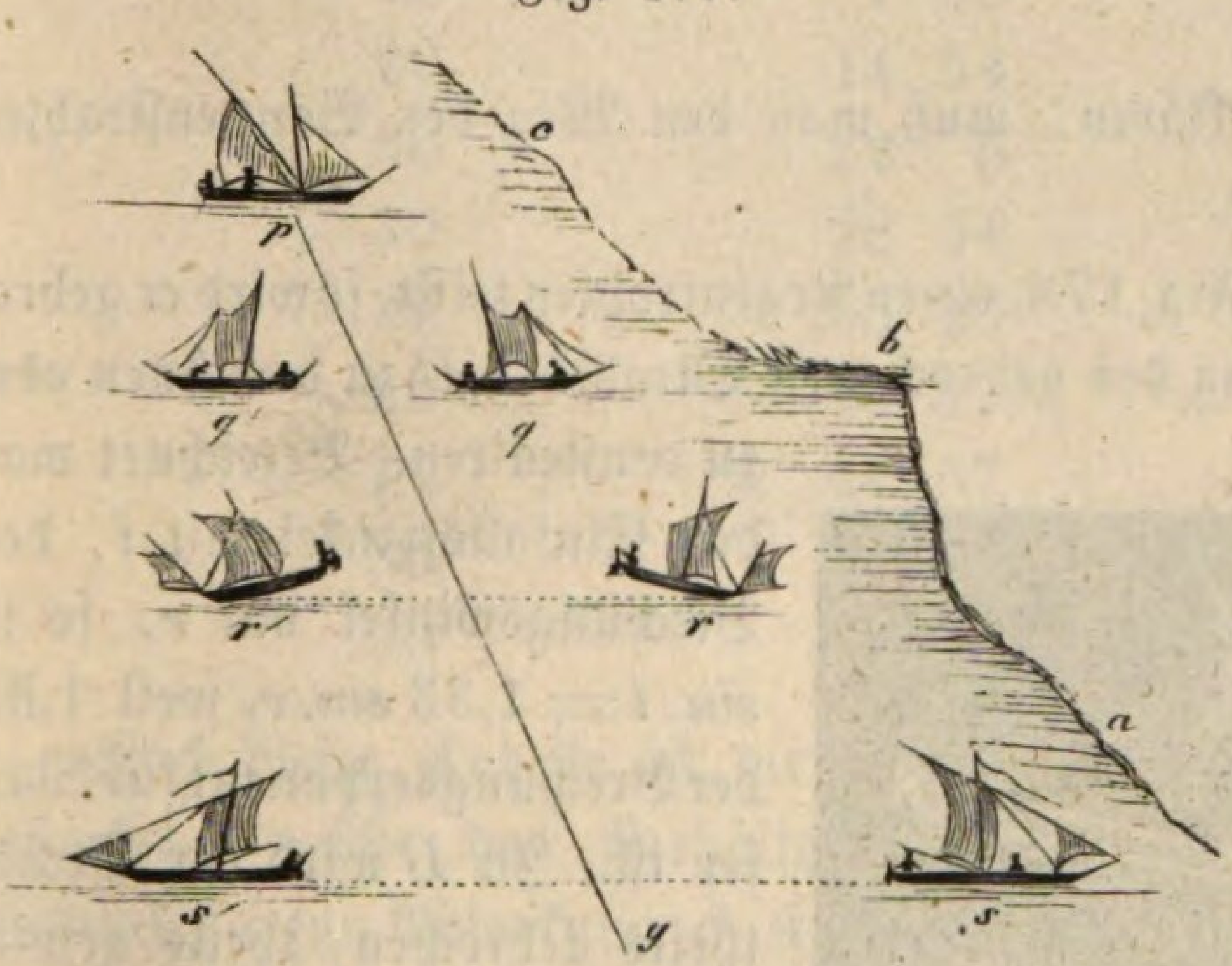
Fig. 176.



sich unter derselben befinden, unsichtbar bleiben, während man von den Gegenständen, welche sich bis zu einer gewissen Höhe über derselben befinden, zwei Bilder sieht, ein directes über und ein verkehrtes unter dieser Linie. Ein Mensch also, welcher sich allmälig von dem Beobachter entfernt, wird der Reihe nach die verschiedenen in Fig. 176 dargestellten Erscheinungen geben.

In allen bisher betrachteten Fällen waren die Bilder über oder unter dem Gegenstande selbst. Im September 1818 beobachteten Soret und Jurine auf dem Genfersee ein Luftbild, welches seitwärts vom Gegenstande lag; sie befanden sich am Ufer des Sees im zweiten Stocke von Jurine's Hause und sahen mit dem Fernrohre in der Richtung *gp*, Fig. 177, nach einem Schiffe, welches sich in einer Entfernung von zwei Meilen dem Vorgebirge Belle-Rive gegenüber befand und nach Genf segelte. Während das Schiff allmälig nach *q*, *r* und *s* kam, sahen sie ein deutliches Bild zur Seite in *q'*, *r'*, *s'*, welches sich wie das Schiff selber näherte, während die Entfernung des Schiffes und seines Bildes größer wurde. Wenn die Sonne die Segel beleuchtete, war das Bild so hell, daß man es mit bloßen Augen sehen konnte.

Fig. 177.



Diese Erscheinung erklärt sich dadurch, daß die Luft über dem See am östlichen Ufer *abc* des Morgens noch einige Zeit im Schatten war, während sie weiter links schon durch die Sonne erwärmt wurde; so konnte die Trennungsfläche der warmen und kalten Luft bis zu einer geringen Höhe über dem Wasser vertical sein.

Diese Beispiele mögen hinreichen, um eine Idee von den mannigfaltigen und oft bizarren Erscheinungen zu geben, welche durch die außergewöhnliche

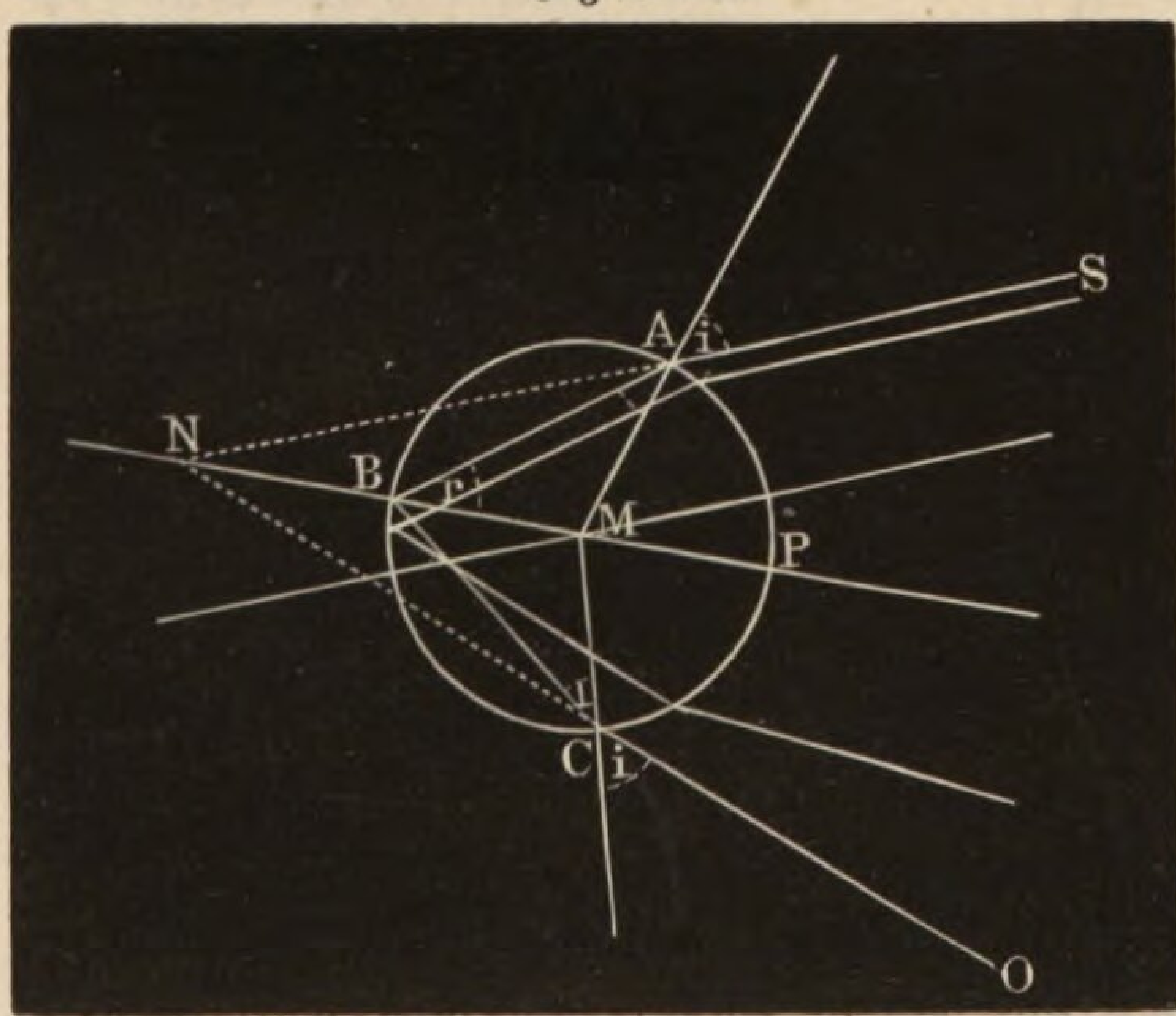
Brechung des Lichts in an einander gränzenden Luftschichten von sehr verschiedener Dichtigkeit hervorgebracht werden. Wir haben bisher angenommen, daß diese Luftschichten in ebenen Flächen an einander gränzen; wenn dies aber nicht der Fall ist, wenn die Gränzflächen gekrümmt und unregelmäßig sind, so erscheinen die Bilder verzerrt. Es ist nicht zu bezweifeln, daß die unter dem Namen Fata Morgana bekannten Erscheinungen eine Wirkung der Luftspiegelung sind. Sie werden zu Neapel, zu Reggio und an den Küsten von Sicilien beobachtet. Auf einmal sieht man in großer Entfernung in den Lüften Ruinen, Säulen, Schlösser, Paläste, kurz eine Menge von Gegenständen, deren Anblick sich fortwährend ändert. Das Volk strömt dann dem Ufer zu, um dieses sonderbare Schauspiel anzusehen. Diese feenhafte Erscheinung beruht darin, daß Gegenstände sichtbar werden, die man bei dem gewöhnlichen Zustande der Atmosphäre nicht sehen kann und welche zerrissen, verzerrt und in fortwährender Bewegung zu sein scheinen, weil die ungleich dichten Luftschichten in steter Bewegung sind.

121 **Der Regenbogen.** Es ist allgemein bekannt, daß man einen Regenbogen sieht, wenn man eine regnende Wolke vor sich und die Sonne im Rücken hat. Der Regenbogen bildet gleichsam die Basis eines Kegels, in dessen Spitze das Auge steht und dessen Axe mit der geraden Linie zusammenfällt, welche man durch die Sonne und das Auge legen kann. Unter den eben angegebenen Bedingungen erscheint auch der Regenbogen in dem Staubregen der Wasserfälle und Springbrunnen.

Um den Regenbogen zu erklären, muß man den Weg der Sonnenstrahlen durch die Regentropfen verfolgen.

Wenn ein Sonnenstrahl SA, Fig. 178, einen Regentropfen trifft, so wird er gebrochen, und es ist leicht, die Richtung des gebrochenen Strahls AB zu berechnen oder zu construiren. Bezeichnet man den Einfallswinkel mit i, den Brechungswinkel mit r, so ist $\sin. i = 1{,}33 \sin. r$, weil 1,33 der Brechungsexponent für Wasser ist. In B wird der Strahl theils gebrochen, theils gespiegelt; der gespiegelte Strahl trifft in C von Neuem die Oberfläche des Tropfens und wird in der Richtung CO gebrochen. Verlängert man die Linien SA und OC, so schneiden sie sich in N. Der Winkel ANC, den wir mit d bezeichnen wollen, ist der Winkel, welchen der austretende Sonnenstrahl mit dem einfallenden macht, und die Größe dieses Winkels soll zunächst bestimmt werden. Ziehen wir in dem Punkte B, in welchem der Strahl gespiegelt wird, das Einfallsloth

Fig. 178.



BN, so ist der Winkel $BNA = \frac{1}{2} d$. Der Winkel PMA ist, wie leicht einzusehen, $= 2r$ (als Außenwinkel des Dreiecks MBA), und da $2r$ ein Außenwinkel des Dreiecks MAN ist, so haben wir

$$\frac{1}{2} d = 2r - i;$$

denn der Winkel MAN ist gleich i. Daraus folgt aber

$$d = 4r - 2i \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1).$$

Dieser Werth von d zeigt, daß der Winkel der eintretenden und austretenden Sonnenstrahlen mit der Größe des Einfallswinkels sich ändert; denn von i hängt r und von beiden hängt d ab. Je nachdem also die unter sich parallel eintretenden Sonnenstrahlen in verschiedenen Punkten den Regentropfen treffen, erleiden sie auch nach zweimaliger Brechung und einmaliger Spiegelung verschiedene Ablenkungen. Der einfallende Strahl, dessen Verlängerung durch den Mittelpunkt des Tropfens geht, erleidet gar keine Ablenkung, denn für diesen Strahl ist $i = 0$; wenn aber $i = 0$, so sind auch r und d gleich Null. Je mehr nun der Einfallspunkt nach A hinrückt, desto größer wird i, und die stetige Veränderung von i hat auch eine stetige Veränderung von d zur Folge. Es ist leicht, zu jedem i das zugehörige r und dann das zugehörige d nach Gleichung 1) zu berechnen, wie es in folgender Tabelle für einige Werthe von i geschehen ist.

i	r	d
10°	7° 30′	10°
20	14 54	19 36′
30	22 5	28 20
40	28 54	35 36
50	35 10	40 40
60	40 37	42 28
70	44 57	39 48
80	47 46	31 4
90	48 45	15.

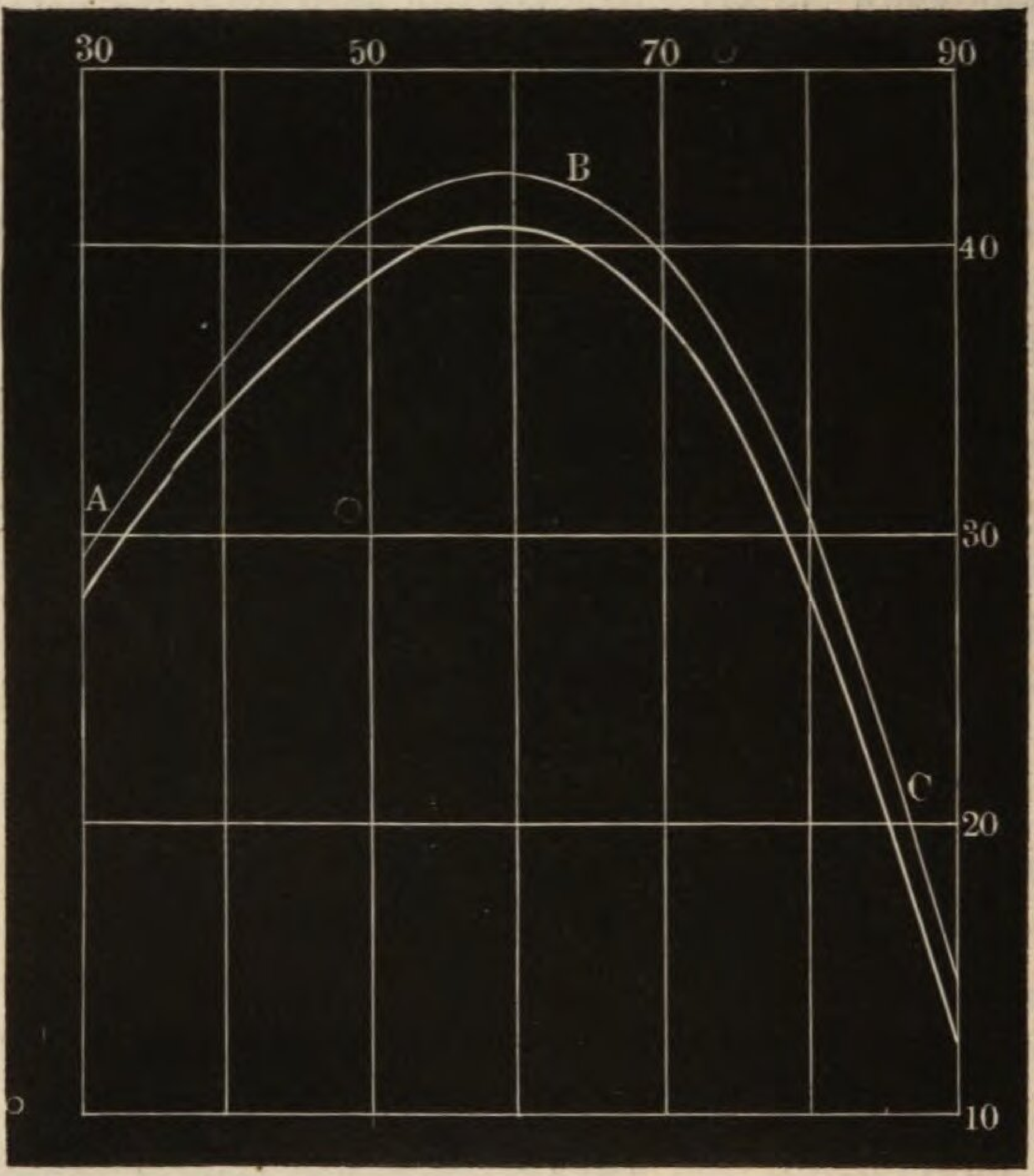
Nach dieser Tabelle ist die obere Curve Fig. 179 (auf folgender Seite) construirt, welche das Verhältniß anschaulich macht, in welchem der Einfallswinkel i zur Ablenkung d steht. Die verschiedenen Werthe von i sind als Abscissen, die zugehörigen Werthe von d als Ordinaten aufgetragen. Man ersieht aus dieser Figur sehr deutlich, wie mit zunehmendem Werthe von i auch die Ablenkung wächst, bis sie ein Maximum erreicht, wenn i gegen 58 bis 59° ist. Wächst i noch mehr, so nimmt die Ablenkung wieder ab.

Aus dem eben Gesagten folgt nun unmittelbar, daß die parallel auf den Tropfen fallenden Sonnenstrahlen, die wir bisher betrachtet haben, nach ihrem Austritte aus dem Tropfen divergiren. Es ist begreiflich, daß durch diese Divergenz der aus dem Tropfen kommenden Strahlen die Stärke des Lichteindrucks, den sie hervorbringen, ganz außerordentlich geschwächt wird, namentlich, wenn die Tropfen in einer nur etwas bedeutenden Entfernung vom Auge sich befinden. Unter allen aus dem Tropfen nach zweimaliger Brechung und ein-

maliger Spiegelung ins Auge kommenden Strahlen können demnach nur diejenigen einen merklichen Lichteindruck machen, für welche diese Divergenz ein Minimum ist, oder, mit anderen Worten, nur diejenigen, welche sehr nahe parallel austreten.

Suchen wir nun in der Curve *ABC*, Fig. 179, diejenige Stelle, wo bei gleichmäßiger Veränderung der Abscissen *i* die Ablenkung sich verhältnißmäßig

Fig. 179.



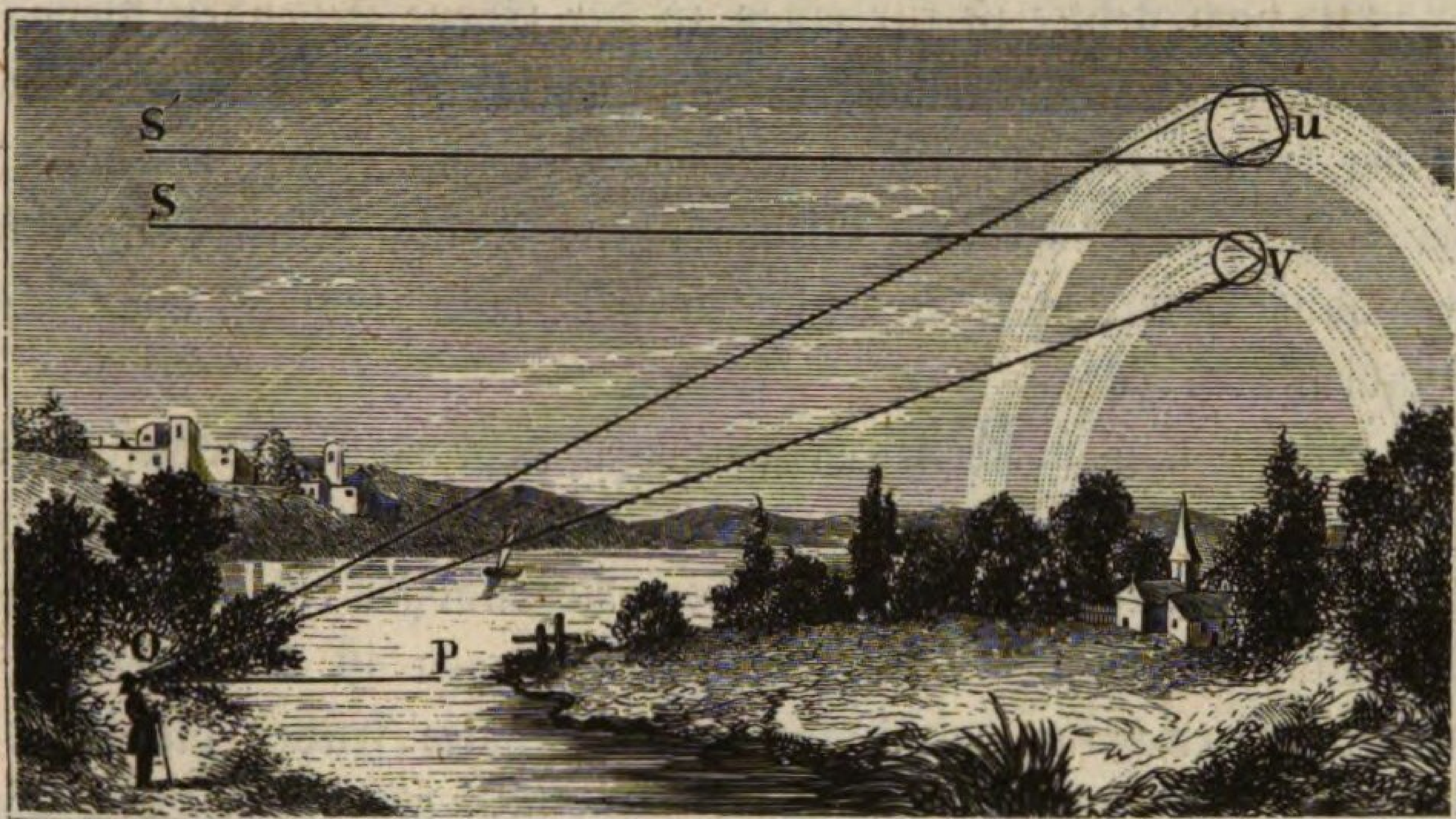
am wenigsten ändert, so finden wir, daß dies der Fall ist, wenn die Ablenkung ein Maximum ist; denn an dieser Stelle ist die Curve fast horizontal. Für alle Einfallswinkel *i*, welche selbst einige Grade größer und kleiner sind als 59°, ist die Ablenkung fast ganz dieselbe, sie beträgt sehr nahe 42° 30′; eine ziemliche Menge parallel einfallender Sonnenstrahlen verläßt also den Tropfen fast in derselben Richtung, nachdem sie eine Ablenkung von sehr nahe 42° 30′ erlitten haben; und diese Strahlen werden unter allen aus dem Tropfen kommenden allein einen merklichen Lichteindruck hervorbringen können.

Man denke sich durch die Sonne und das Auge des Beobachters eine gerade Linie *OP*, Fig. 180, gezogen, und durch dieselbe eine Verticalebene gelegt. Man ziehe ferner durch *O* eine Linie *OV*, so daß der Winkel $POV = 42^{0}\,30'$, so werden nach dieser Richtung hin sich befindende Regentropfen nach einmaliger innerer Spiegelung wirksame Strahlen ins Auge senden. Jedoch nicht allein in dieser Richtung empfängt das Auge wirksame Strahlen, sondern, wie leicht begreiflich, von allen Regentropfen, die in der Kegeloberfläche liegen, die durch Umdrehung der Linie *OV* um die Axe *OP* entsteht; das Auge wird also

einen lichten Kreis sehen, dessen Mittelpunkt auf der von der Sonne durch das Auge gezogenen Geraden liegt und dessen Halbmesser unter einem Winkel von 42° 30′ erscheint.

Bei der obigen Betrachtung wurde 1,33 als Brechungsexponent in Rechnung gebracht. Es ist dies aber der Brechungsexponent der rothen Strahlen, das Auge sieht also in der erwähnten Richtung einen rothen Kreis, der als

Fig. 180.



ein rother Ring von 30′ Breite erscheint, weil die Sonne nicht ein Punkt, sondern eine Scheibe ist, die den scheinbaren Durchmesser 30′ hat. Für violette Strahlen ist der Brechungsexponent 1,34, und daraus ergeben sich folgende zusammengehörige Werthe von *i* und *d*:

i	*d*	*i*	*d*
0	0	50°	39°
10°	9° 40′	60	40 28′
20	18 57	70	37 28
30	27 22	80	28 28
40	34 20	90	12 18

Nach diesen Zahlen ist die unterste Curve Fig. 179 construirt. Das Maximum der Ablenkung, welche die violetten Strahlen nach einmaliger innerer Spiegelung im Tropfen erleiden, ist demnach nahe 40° 30′; dies ist also die Richtung, in welcher die wirksamen violetten Strahlen austreten. Es wird also concentrisch mit dem rothen ein violetter Kreisbogen von geringerem Halbmesser sichtbar sein, welcher gleichfalls eine Breite von 30′ hat. Zwischen diesen äußersten Bogen erscheinen die der übrigen prismatischen Farben, und so bildet also gewissermaßen der Regenbogen ein zu einem kreisförmigen Bogen ausgedehntes Spectrum. Die ganze Breite des Regenbogens beträgt ungefähr 2°, da ja der Halbmesser des rothen Bogens um 2° größer ist als der des violetten.

Was die Ausdehnung des farbigen Bogens betrifft, so hängt sie offenbar von der Höhe der Sonne über dem Horizonte ab. Wenn die Sonne eben untergeht, so erscheint der Regenbogen im Osten, der Mittelpunkt des Bogens liegt

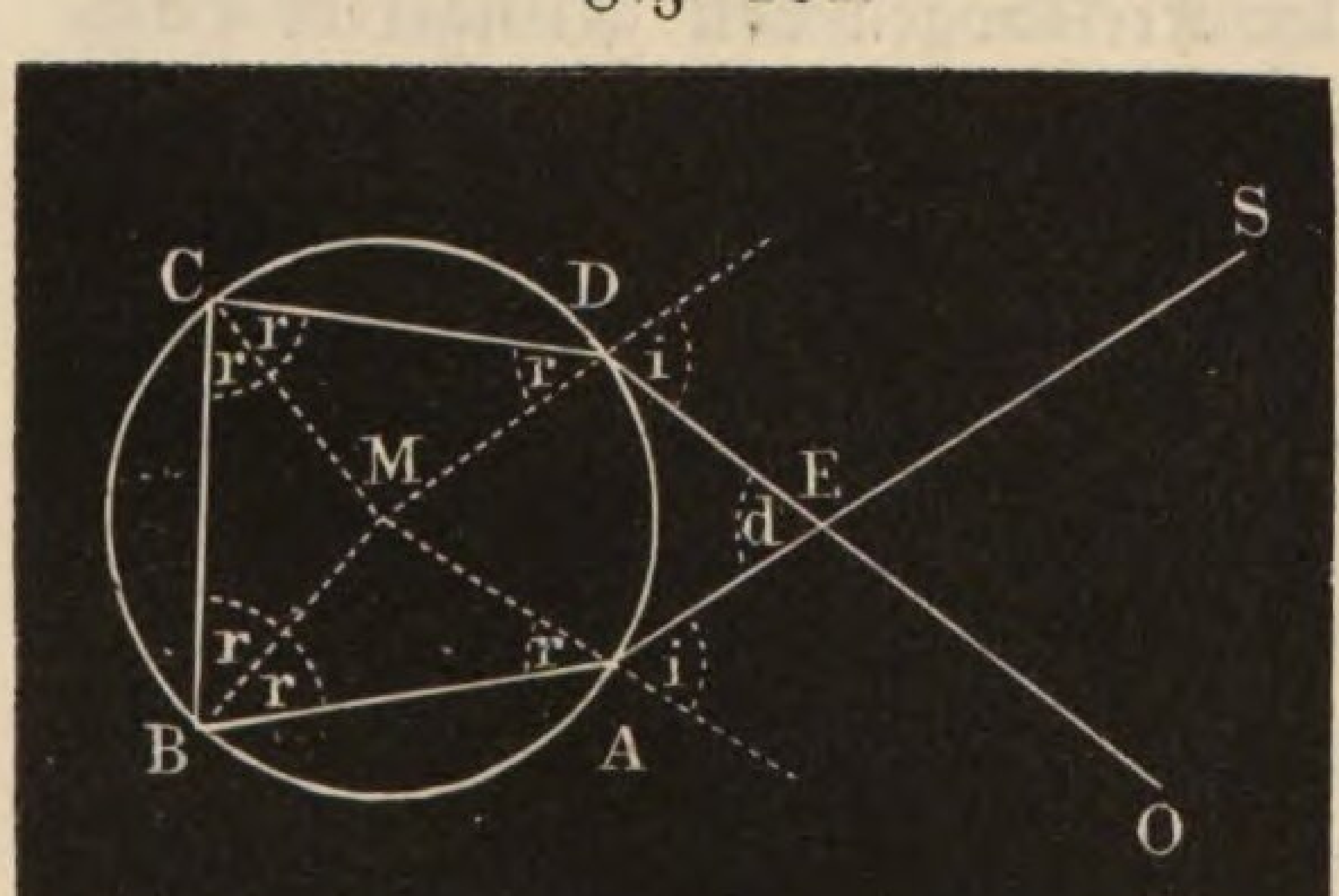
dann gerade im Horizonte, weil die durch die Sonne und das Auge gezogene Linie eine horizontale ist; wenn der Beobachter in der Ebene steht, so bildet der Regenbogen gerade einen Halbkreis, er kann aber mehr als einen Halbkreis übersehen, wenn er auf einer isolirten Bergspitze von geringer Breite oder auf einem hohen Thurme steht. Bei Sonnenaufgang erscheint der Regenbogen im Westen. Je höher die Sonne steigt, desto tiefer liegt der Mittelpunkt des farbigen Bogens unter dem Horizonte, desto kleiner ist also das dem Auge sichtbare Bogenstück. Wenn die Sonne $42^0\,30'$ hoch steht, ist für einen in der Ebene stehenden Beobachter gar kein Regenbogen mehr sichtbar, weil alsdann der Gipfel desselben gerade in den Horizont, der ganze Bogen also unter den Horizont fallen würde. Von den Masten der Schiffe sieht man oft Regenbogen, welche einen ganzen Kreis bilden; solche ganz kreisförmige Regenbogen sieht man auch oft an Wasserfällen und Springbrunnen.

Außer dem eben besprochenen Regenbogen sieht man gewöhnlich noch einen zweiten größeren, mit dem ersteren concentrischen, bei welchem die Ordnung der Farben die umgekehrte ist; beim äußeren Regenbogen ist nämlich das Roth innen, das Violett außen. Der äußere Regenbogen ist weit weniger lichtstark als der innere, er erscheint weit blasser. Man hatte früher die irrige Ansicht, der zweite Regenbogen sei gleichsam ein Spiegelbild des ersten. Die Entstehung des äußeren Regenbogens beruht auf denselben Principien wie die des inneren, er entsteht durch Sonnenstrahlen, welche in den Regentropfen eine zweimalige Brechung und eine zweimalige innere Reflexion erlitten haben.

In Fig. 181 ist der Gang eines Lichtstrahles dargestellt, welchen derselbe im Regentropfen nimmt, um ihn nach zweimaliger innerer Spiegelung zu verlassen. SA ist der einfallende Sonnenstrahl, welcher nach AB gebrochen, dann in B und C gespiegelt wird und bei D in der Richtung DO wieder austritt. In diesem Falle schneiden sich der einfallende und der austretende Strahl und bilden einen Winkel d mit einander, dessen Größe veränderlich ist, je nachdem der einfallende Strahl den Tropfen an einer anderen Stelle, also unter einem anderen Einfallswinkel, trifft. Suchen wir nun den Werth des Ablenkungswinkels d zu ermitteln.

Die Summe aller Eckwinkel des Fünfecks $ABCDE$ beträgt, wie dies bei jedem Fünfeck der Fall ist, 6 rechte oder 540^0. Um den Winkel d zu finden, haben wir also nur von 540^0 die Eckwinkel bei A, B, C und D abzuziehen; jeder der Eckwinkel bei B und C beträgt $2r$, zusammen machen sie also $4r$ aus; der Winkel bei D sowohl als der bei A ist aber gleich $r +$ dem Winkel MDE, für den Winkel MDE können wir aber seinen Werth $180 - i$ setzen, folglich ist der Winkel CDE gleich $r + 180 - i$, die beiden Eckwinkel bei A und D sind also zusammen $2r + 360 - 2i$;

Fig. 181.



zieht man nun von 540° die beiden Eckwinkel bei B und C, also $4r$, und die beiden Eckwinkel bei A und D, also $2r + 360 - 2i$ ab, so kommt:

$$d = 540 - 4r - (2r + 360 - 2\,i)$$

oder

$$d = 180^{0} + 2i - 6\,r.$$

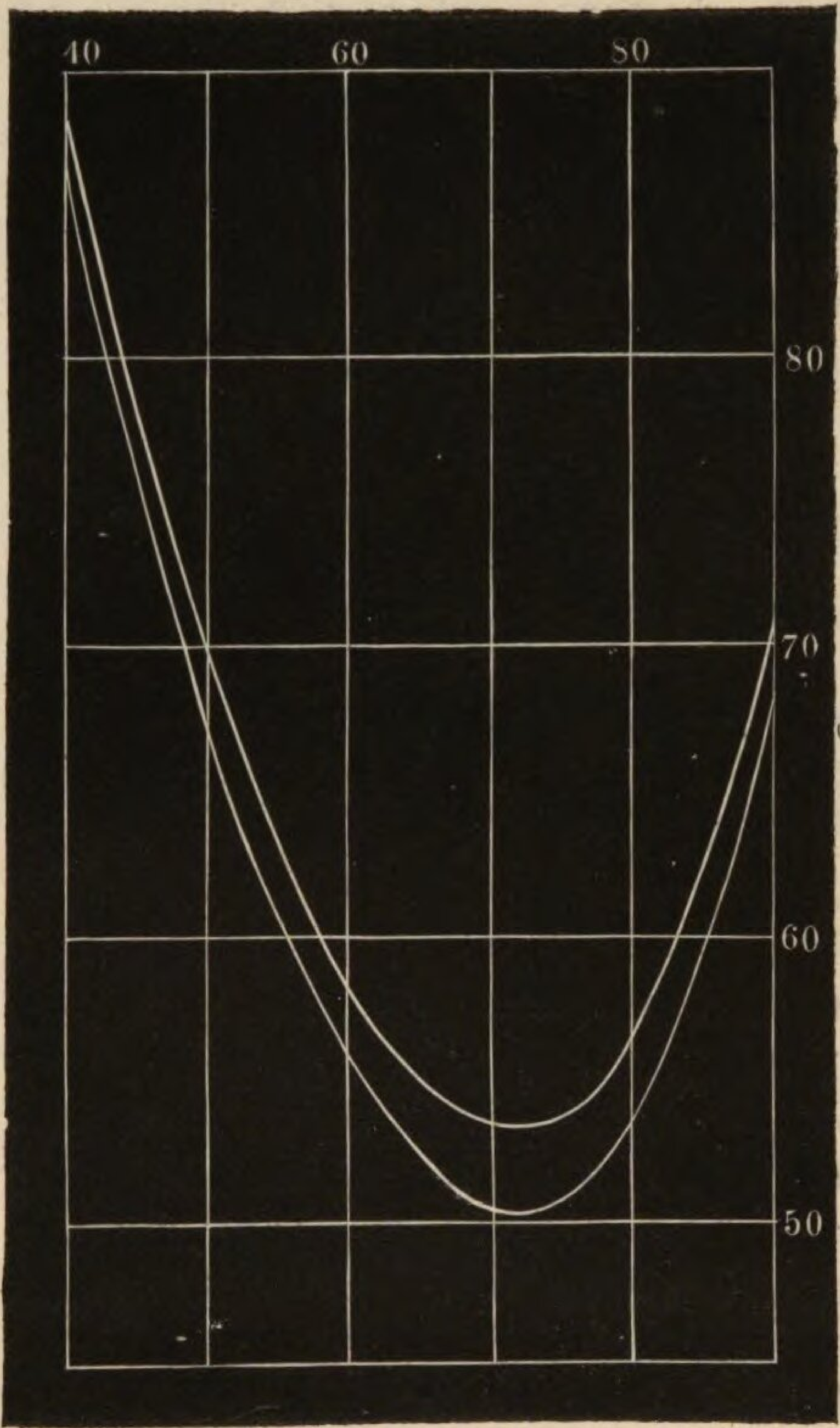
Nach dieser Formel ergeben sich folgende zusammengehörige Werthe des Einfallswinkels i und des Ablenkungswinkels d für violettes und rothes Licht:

Einfallswinkel	Ablenkungswinkel für Roth	Ablenkungswinkel für Violett
0	180°	180°
40	86 36′	88 0′
60	56 18	58 24
70	50 18	53 24
80	53 24	56 12
90	68 30	70 18

Wenn ein rechtwinklig auf den Tropfen fallender Strahl, an der Rückwand des Regentropfens reflectirt, die Vorderfläche wieder trifft, so tritt er zum Theil in der Richtung wieder aus, in der er gekommen war, der Winkel des eintretenden und des austretenden Strahls ist für diesen Fall gleich Null; zum Theil erleidet er aber an der Vorderwand eine zweite Reflexion und tritt dann in einer Richtung aus, welche die Verlängerung des einfallenden Strahls bildet; die Ablenkung ist alsdann 180°. Trifft der einfallende Strahl nicht rechtwinklig auf den Tropfen, so nimmt die Totalablenkung nach zweimaliger innerer Spiegelung ab, wenn der Einfallswinkel wächst. Für einen Einfallswinkel von ungefähr 71° ist die Ablenkung ein Minimum, und zwar beträgt sie für die rothen Strahlen ungefähr 50°, für violette nahe $53^{1}/_{2}{}^{0}$. Für noch größere Einfallswinkel nimmt die Ablenkung wieder ab.

Nach den Zahlen der letzten Tabelle sind die beiden Curven der Fig. 182 (auf folgender Seite) construirt, und zwar gilt die untere für die rothen, die obere für die violetten Strahlen. Man sieht aus dem Anblick der Figur, daß in der Nähe des Minimums der Ablenkung eine kleine Veränderung des Einfallswinkels keine bedeutende Veränderung in der Ablenkung hervorbringt, daß also in der Richtung der kleinsten Ablenkung ein Bündel ziemlich paralleler Strahlen austritt, und diese Strahlen sind die einzigen unter allen, welche, den Tropfen nach zweimaliger innerer Spiegelung verlassend, einen merklichen Lichteindruck hervorbringen können. Aus der für den ersten Regenbogen entwickelten Schlußweise ergiebt sich, daß man unter den geeigneten Umständen einen rothen Bogen sehen wird, dessen Halbmesser unter einem Winkel von 50°, und einen violetten, dessen Radius unter einem Winkel von $53^{1}/_{2}{}^{0}$ erscheint. Die Breite des zweiten Regenbogens beträgt also ungefähr $3^{1}/_{2}{}^{0}$.

Fig. 182.



In Fig. 182 stellt der Höhenunterschied der beiden concaven Gipfel der oberen Curven die Breite des äußeren Regenbogens dar.

Der Zwischenraum der beiden Regenbogen beträgt ungefähr $7^1/_2$ Grad.

Der äußere Regenbogen ist blasser, weil er durch Strahlen gebildet wird, welche eine zweimalige innere Spiegelung erlitten haben, indem das Licht bei jeder Spiegelung eine Schwächung erleidet. Man würde noch einen dritten und einen vierten Regenbogen sehen können, welche durch Strahlen gebildet werden, die eine dreimalige und eine viermalige innere Spiegelung erlitten haben, wenn diese Strahlen nicht zu lichtschwach wären.

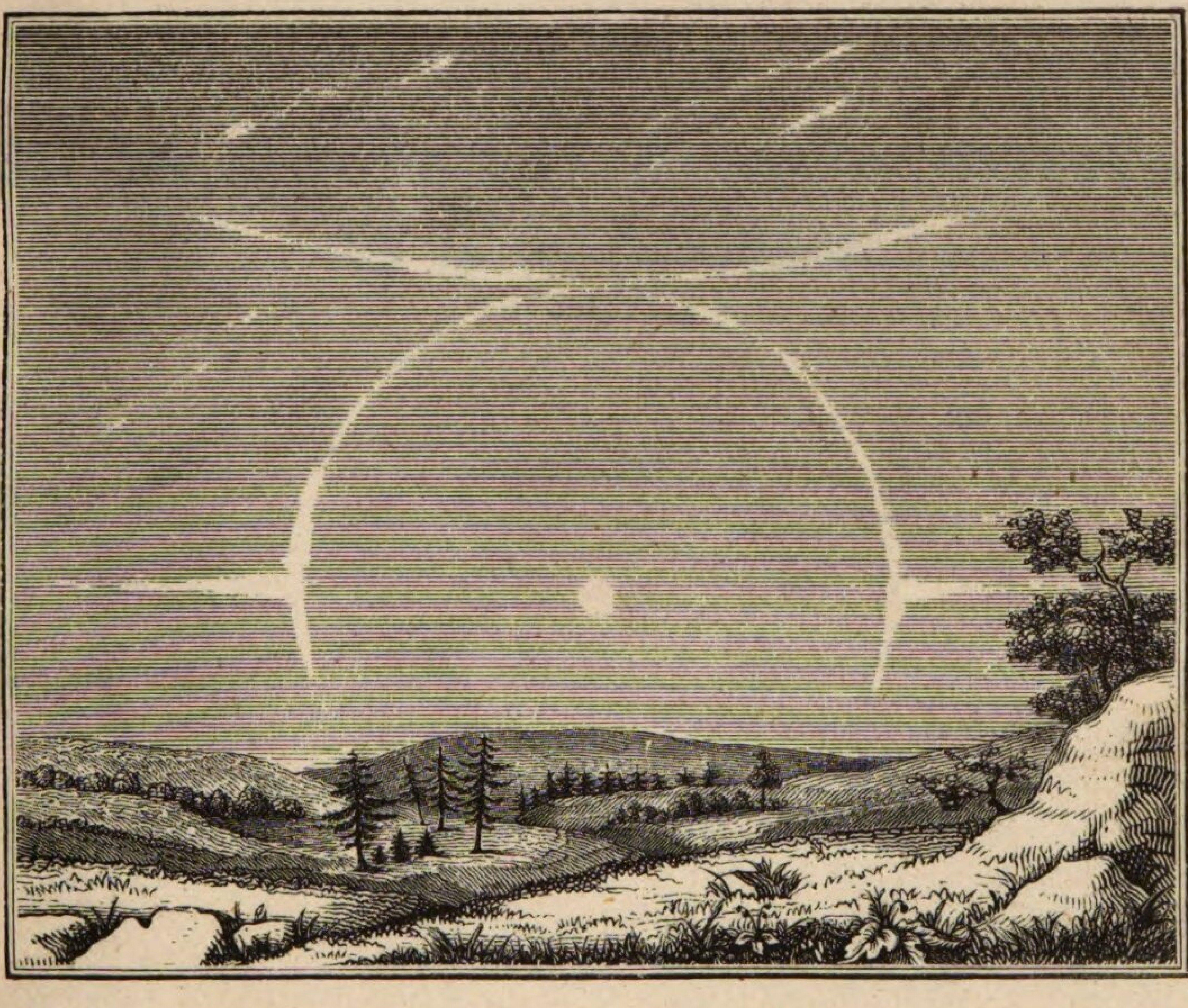
122 **Höfe und Nebensonnen.** Oft sieht man, wenn der Himmel mit einem leichten Wolkenschleier überzogen ist, dicht um die Sonne und den Mond farbige Ringe. Sehr häufig sieht man diese Ringe nicht vollständig, sondern nur stückweise. Wenn man die Mondhöfe häufiger beobachtet als die Sonnenhöfe, so liegt der Grund darin, daß das Licht der Sonne zu blendend ist; man sieht aber diese auch, sobald man das Bild der Sonne in ruhigem Wasser oder in einem auf der Rückseite geschwärzten Spiegel betrachtet.

Diese Höfe haben die größte Aehnlichkeit mit der Glorie, welche man um eine Kerzenflamme sieht, wenn man sie durch eine mit Semen lycopodii bestreute Glasplatte betrachtet (Lehrb. d. Physik, 4te Aufl. Bd. I. S. 528), und sicherlich sind die Höfe ebenso wie dieses Phänomen zu den Interferenzerscheinungen zu zählen; die Dunstbläschen vertreten die Stelle der feinen Staubtheilchen.

Bisweilen sieht man auch noch zwei größere farbige Kreise um die Sonne und den Mond, welche mit den Höfen nicht zu verwechseln sind; der Halbmesser des kleineren dieser hellen Ringe erscheint unter einem Winkel von 22 bis 23°, der des größeren aber unter einem Winkel von 46° bis 47°; das Roth ist bei denselben nach innen gekehrt, der innere Rand ist schärfer, der

äußere mehr verschwommen und weniger deutlich gefärbt. Selten erscheinen die beiden Kreise zu gleicher Zeit. Fig. 183 stellt die Erscheinung dar, wie man sie wohl am häufigsten zu beobachten Gelegenheit hat; es ist nämlich der kleinere Ring von 22 bis 23⁰ Radius; er ist durch einen horizontalen lichten Streifen durchschnitten, welcher sich oft bis zur Sonne selbst erstreckt. Da, wo dieser Streifen den Lichtring durchschneidet, ist er am hellsten; diese hellen Stellen, welche man zu beiden Seiten der Sonne am äußeren Umfange des Ringes sieht, sind die Nebensonnen; bisweilen erscheint eine solche Nebensonne auch vertical über der Sonne im Gipfel des Ringes; oder es erscheint hier ein Berührungsbogen, wie er in Fig. 183 dargestellt ist. Oft sieht man die Nebensonnen auch ohne die Ringe, oder die Ringe ohne die Nebensonnen. Diese Ringe und die Nebensonnen erscheinen ebenfalls nie bei ganz heiterem Himmel, sondern nur, wenn derselbe mit einem Schleier überzogen ist.

Fig. 183.



Die erwähnten Ringe hat schon Mariotte durch eine Brechung des Lichts in den in der Luft schwebenden Eisnadeln erklärt; wenn die Eisnadeln sechsseitige Säulen sind, so bilden immer je zwei nicht parallele und nicht zusammenstoßende Seitenflächen einen Winkel von 60⁰ mit einander, die Eisnadeln bilden also gewissermaßen gleichseitige, dreiseitige Prismen, für welche das Minimum der Ablenkung ungefähr 23⁰ beträgt. Solche Strahlen nun, welche in den Eisnadeln das Minimum der Ablenkung erlitten haben, sind den wirksamen Strahlen des Regenbogens analog, weil viele Strahlen sehr nahe in derselben Richtung austreten. Diese Hypothese erklärt also zugleich die Bildung des Ringes, seine Größe und die Anordnung der Farben.

Der Ring von 46⁰ erklärt sich durch die Annahme, daß die Axe der Prismen in der Weise schief steht, daß der rechte Winkel, welchen die Seitenflächen der Säule mit der Basis bilden, der brechende Winkel des Prismas wird. Für ein Eisprisma, dessen brechender Winkel 90⁰ beträgt, ist in der That das Minimum der Ablenkung 46⁰.

Den Nebensonnenstreifen erklärt man durch die Reflexion der Sonnenstrahlen an den verticalen Flächen der Eisnadeln; er ist da am hellsten, wo er den Ring von 23⁰ durchschneidet, weil hier zwei Ursachen stärkerer Erleuchtung zusammenwirken. Fraunhofer erklärt die Nebensonnenstreifen als Interferenzerscheinung. Am vollständigsten ist die Theorie der Höfe und Nebensonnen von Galle behandelt worden (Pogg. Annal. Bd. XLIX.).

Drittes Buch.

Die calorischen Erscheinungen auf der Erdoberfläche und in der Atmosphäre.

Erstes Capitel.

Verbreitung der Wärme auf der Erde.

Abhängigkeit des Klimas von der geographischen Breite. 123
Die Erwärmung unserer Erdoberfläche und unserer Atmosphäre stammt fast ausschließlich von der Sonne her; denn die eigenthümliche Wärme des Erdkörpers ist auf seiner Oberfläche nicht mehr merklich, und die Wärmemenge, welche durch chemische Processe, durch Verbrennung z. B. entwickelt wird, ist verschwindend gegen die Wärmequantitäten, welche den Gang der meteorologischen Verhältnisse bedingen. Die Sonnenstrahlen allein sind es also, welche, theilweise in der Atmosphäre, vorzugsweise aber von der Erdoberfläche absorbirt und in fühlbare Wärme verwandelt, die zur Erhaltung der thierischen und pflanzlichen Organismen nöthige Wärme liefern.

Während ein von den Sonnenstrahlen getroffener Theil der Erdoberfläche erwärmt wird, strahlt umgekehrt die erwärmte Erde ihre Wärmestrahlen gegen den kälteren Himmelsraum aus. Diese Ausstrahlung hat eine Erkaltung des Bodens und der Atmosphäre zur Folge und die Temperaturschwankungen, welche an jedem Orte der Erde stattfinden, rühren im Wesentlichen daher, daß bald die Wirkungen der Insolation, bald die der Ausstrahlung überwiegend werden.

Die Wirksamkeit der Sonnenstrahlen hängt zunächst von der Richtung ab in welcher sie die Erdoberfläche treffen. Es ist bereits oben in §. 39 Seite 89 auseinandergesetzt worden, wie im Allgemeinen die erwärmende Wirkung der Sonnenstrahlen von dem Aequator gegen die Pole hin abnimmt, und wie die Erde durch die Wendekreise und die Polarkreise in fünf Zonen getheilt wird, nämlich die heiße Zone, die beiden gemäßigten und die beiden kalten.

Außer der Richtung, in welcher die Sonnenstrahlen die Erdoberfläche treffen, ist aber auch noch das Verhältniß der Zeiten von Wichtigkeit, während welcher die Insolation erwärmend und die nächtliche Strahlung abkühlend wirken kann, kurz, die Schwankungen in der Dauer des Tages und der Nacht üben auf die Temperaturverhältnisse verschiedener Gegenden den wesentlichsten Einfluß aus.

Unter dem Aequator haben Tag und Nacht das ganze Jahr hindurch gleiche Dauer, dort also können die Variationen in der Tagesdauer nicht mitwirken, um die eine Zeit des Jahres wärmer, die andere kälter zu machen, und da außerdem in den Aequatorialgegenden die Sonnenstrahlen das ganze Jahr hindurch fast gleich kräftig wirken, so sind dort die Temperaturschwankungen von einem Monat zum anderen nur unbedeutend. Zu Singapore beträgt die Differenz des heißesten und des kältesten Monats nur 1,7°, zu Quito nur 1,4° R.

Diese Gleichmäßigkeit bildet überhaupt den Grundcharakter des Klimas aller Gegenden der heißen Zone, welche auch die Tropen genannt werden, weil sie zwischen den Circulis tropicis liegen; doch macht sich gegen die Wendekreise hin schon ein entschiedenerer Gegensatz geltend, weil dort die Differenz in der Sonnenhöhe des Sommer- und des Wintersolstitiums 46° beträgt, und zur Zeit, in welcher die Sonne das Zenith erreicht, der Tag ungefähr 13½ Stunden dauert, während seine Länge zur Zeit des Wintersolstitiums, nur 10½ Stunden beträgt. Zur Zeit des Sommersolstitiums wirken also die Sonnenstrahlen nicht allein kräftiger, sondern auch länger als zur Zeit des Wintersolstitiums, und dies bewirkt denn, daß die eine Jahreszeit entschieden wärmer ist als die andere. Zu Havannah ist der wärmste Monat 4,5, zu Calcutta ist er 8,4° wärmer als der kühlste.

Ueber die Wendekreise hinaus wird der Unterschied zwischen der Dauer des längsten und des kürzesten Tages immer bedeutender; die lange Dauer der Sommertage ersetzt zum Theil, was den Sonnenstrahlen wegen ihres schrägeren Auffallens an Intensität abgeht, und so kommt es, daß selbst an Orten, welche weit vom Aequator entfernt liegen, der Sommer noch sehr heiß werden kann. So steigt z. B. an einzelnen Sommertagen zu Petersburg die Temperatur der Luft im Schatten bis auf 24° R. Im Winter dagegen, wo die ohnehin sehr schräg auffallenden Sonnenstrahlen nur eine geringe Wirkung hervorbringen können, ist der Tag obendrein sehr kurz, die Nacht aber, während welcher der Boden seine Wärme ausstrahlt, außerordentlich lang, und so muß denn im Winter die Temperatur sehr tief sinken.

Der Unterschied zwischen der Temperatur des Sommers und des Winters wird also im Allgemeinen um so größer sein, je weiter man sich vom Aequator entfernt. So beträgt z. B. die Differenz der mittleren Temperaturen des heißesten und kältesten Monats zu Algier 10,5°, zu Neapel 12,5°, zu München 15,6°, zu Berlin 16,9°, zu Stockholm 17,4°, zu Torneo 25,8°.

Wenn die ganze Erdoberfläche mit Wasser bedeckt, oder wenn sie nur durch festes, durchgängig flaches Land gebildet wäre, welches, überall von gleicher Beschaffenheit, die gleiche Fähigkeit besäße, die Wärmestrahlen zu absorbiren und wieder auszustrahlen, so würden die Temperaturverhältnisse einer Gegend nur von ihrer geographischen Breite abhängen. Nun aber ist die Wirksamkeit der Sonnenstrahlen unter sonst gleichen Umständen eine ganz andere, je nachdem dieselben auf Wasser oder auf Land, auf kahle Sandflächen oder bewaldete Ebenen

u. s. w. fallen. Außerdem aber hängt die Erwärmung einer Gegend nicht allein von der Wärmequantität ab, welche an Ort und Stelle durch die Sonne erzeugt wird, sondern Luft- und Meeresströmungen führen die Wärme von einem Orte zum anderen fort, und bewirken so eine Abkühlung der einen und eine Erwärmung der anderen Gegend. So kommt es denn, daß zwei Orte von gleicher geographischer Breite oft ein sehr ungleiches Klima haben, und man sieht leicht ein, daß theoretische Betrachtungen nicht genügen, um die klimatischen Verhältnisse eines Landes zu bestimmen. Die wahre Vertheilung der Wärme auf der Erdkugel läßt sich nur durch zahlreiche, Jahre lang fortgesetzte Beobachtungen genügend ermitteln. Humboldt hat hier den für alle Naturwissenschaften einzig und allein zur Wahrheit führenden Weg der Induction zuerst mit Erfolg betreten. Auf seinen Reisen auf beiden Hemisphären hat er mit unermüdlichem Eifer zahlreiche Thatsachen gesammelt, und durch geistreiche Combination dieser Thatsache zuerst eine wissenschaftliche Meteorologie begründet.

Stündliche Beobachtungen. Zur Lösung vieler meteorologischer 124
Fragen ist es von Wichtigkeit, daß an verschiedenen Orten die Beobachtung der Temperatur der Luft von Stunde zu Stunde oder wenigstens alle zwei Stunden während des Tages sowohl als während der Nacht wo möglich eine Reihe von Jahren hindurch fortgesetzt werde. Die älteste derartige Beobachtungsreihe ist die, welche Chiminello zu Padua während eines Zeitraumes von 16 Monaten machte. Später wurde eine ähnliche Beobachtungsreihe auf Brewster's Veranlassung auf dem Fort Leith bei Edinburgh angestellt. Gegenwärtig ist die Wissenschaft im Besitz einer ziemlichen Anzahl solcher Beobachtungsreihen, unter denen wir die zu Halle, Göttingen, München, Kremsmünster, Prag, Brüssel, Greenwich, Apenrade, Rom, der karischen Pforte, Petersburg, Nertschinsk, Barnaul, Bombay, Madras, Rio-Janeiro, Frankfort-Arsenal bei Philadelphia, Insel Melville u. s. w. hervorheben.

An mehreren Orten, z. B. zu München und zu Prag, wird der Gang des Thermometers durch eigens dazu eingerichtete Instrumente aufgezeichnet. Die Beschreibung dieser von Lamont und Kreil sehr zweckmäßig und sinnreich construirten Instrumente würde uns hier zu weit führen; wir müssen deshalb auf die »Beschreibung der an der Münchener Sternwarte verwendeten neuen Instrumente und Apparate von Lamont,« München 1851, und den dritten Band der »Prager Beobachtungen« verweisen.

Täglicher Gang der Temperatur. Wenn man die stündlichen Beob- 125
achtungen einzelner Tage betrachtet, so scheint der Gang der Temperatur ein ziemlich regelloser und von einem Tage zum anderen oft wechselnder. So geben z. B. die beiden untersten feingezogenen Curven der Fig. 184 (a. f. S.), den Münchener Beobachtungen zufolge, den Gang der Temperatur am 9. und 10. Januar 1841. Am 9. Januar stieg die Temperatur von 3 Uhr Nachts (8. Januar 15^h astronomische Zeit) ziemlich regelmäßig bis 2 Uhr Nachmittags um $3^3/_4$ Grad, um dann bis zum 10. (9. Januar 16^h astronomische Zeit) um 4 Uhr Morgens um 12 Grade zu sinken. Am 10. Januar stieg dann das

Thermometer in unregelmäßigem Gange bis Mitternacht wieder um 9°. Die beiden fein gezeichneten Curven der Fig. 185 stellen den Gang der Lufttemperatur zu München am 10. und 18. Juli 1841 dar.

Fig. 184.

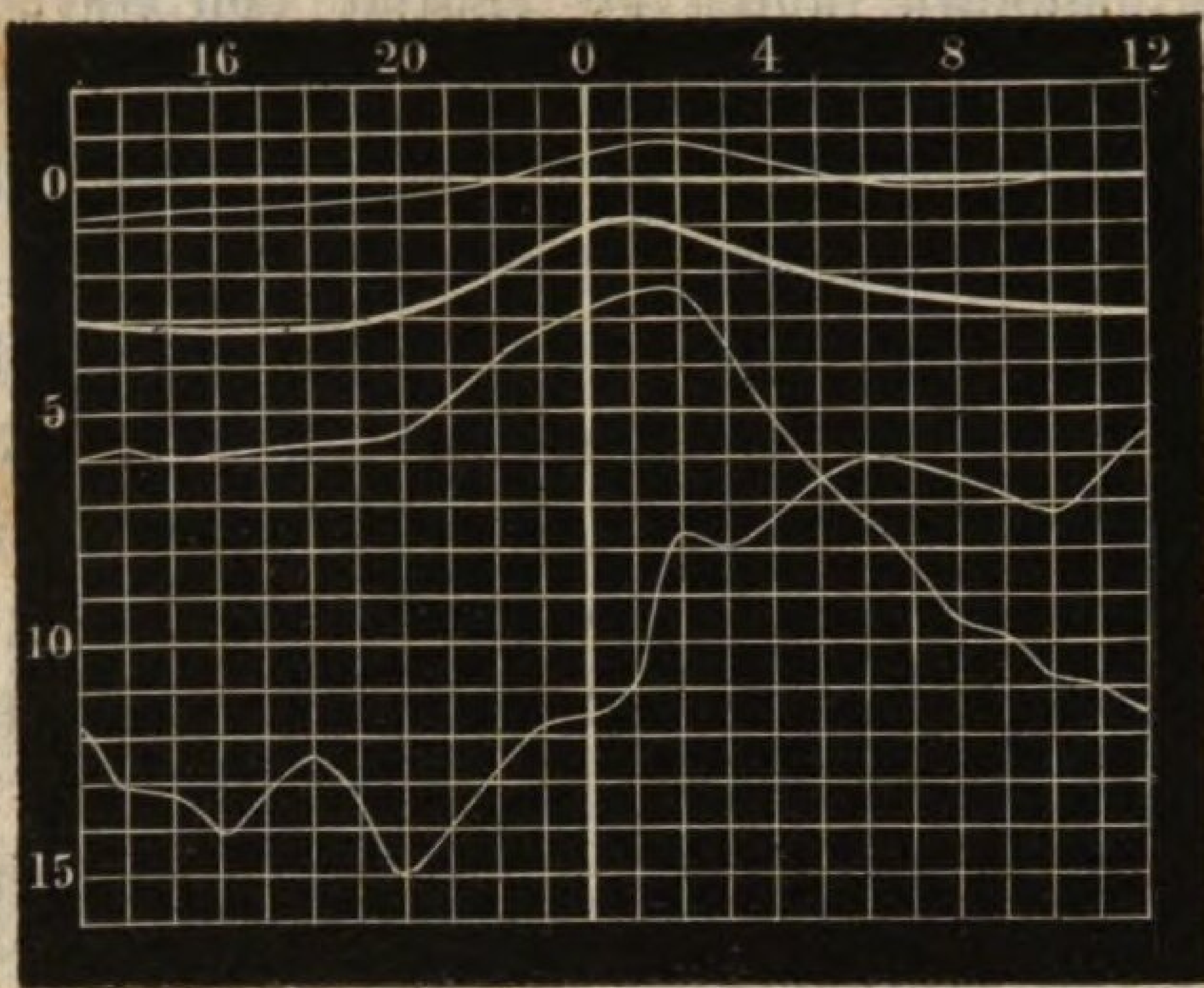
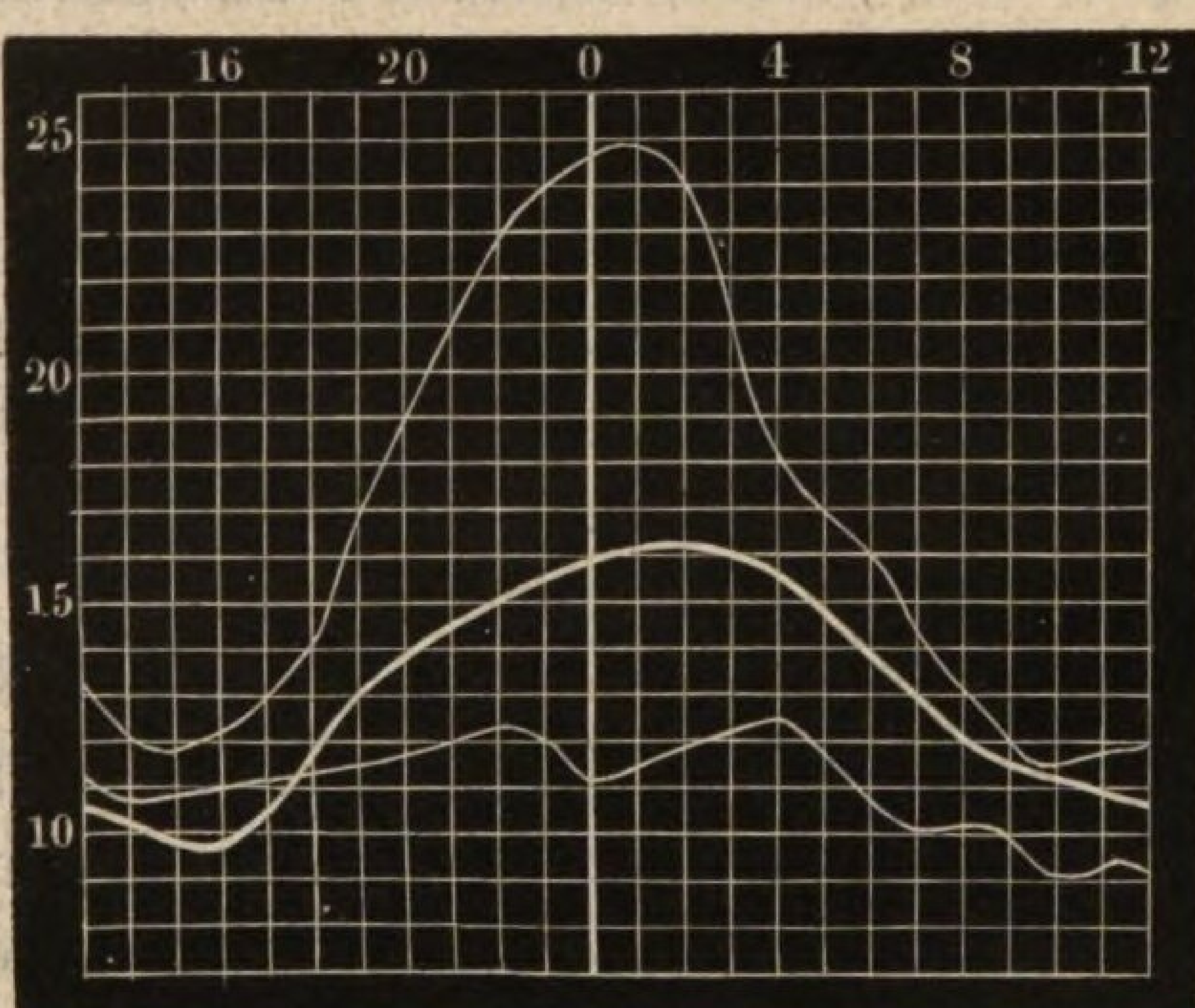


Fig. 185.



Solche Anomalien und Differenzen lassen sich leicht erklären, wenn man bedenkt, daß der Gang der Temperatur allerdings von der Stellung der Sonne gegen den Horizont abhängt, daß aber die Wirkung der Sonnenstrahlen wesentlich durch die Windrichtung, den Bewölkungszustand des Himmels u. s. w. modificirt werden. Deshalb tritt denn auch der normale Gang der täglichen Temperaturschwankungen nicht unmittelbar in die Erscheinung, sondern er kann nur als Mittel aus größeren Beobachtungsreihen dargestellt werden.

Nimmt man aus allen während der Jahre 1841, 1842 und 1843 im Juli zu München Morgens um 4 Uhr gemachten Beobachtungen, das Mittel so erhält man 9,9°. Ebenso ergiebt sich für 6 Uhr im Juli die mittlere Temperatur 11,2°; für 8 Uhr 14°, für Mittag 16° u. s. w. Die stark ausgezogene Curve in Fig. 185 stellt den normalen Gang der täglichen Temperaturschwankungen zu München im Laufe des Monats Juli dar, wie er sich aus den auf die angegebene Weise erhaltenen Mittelzahlen ergiebt.

Die stark ausgezogene Curve in Fig. 184 hat die gleiche Bedeutung für den Monat Januar.

Im Durchschnitt steigt also zu München im Juli von 4 Uhr Morgens an (kurz vor Sonnenaufgang) die Temperatur anfangs rasch, dann langsamer bis 2 Uhr Nachmittags, um wieder anfangs rasch und dann langsamer bis zum nächsten Sonnenaufgang abzunehmen.

Das Minimum der Temperatur findet also ungefähr zur Zeit des Sonnenaufgangs, das Maximum ungefähr um 2 Uhr Nachmittags Statt.

Die Differenz des täglichen Maximums und Minimums beträgt im Mittel 6,2° R.

Im Januar ist der normale Gang der täglichen Wärmeschwankungen ein ganz anderer. Das Minimum der Wärme findet gleichfalls zur Zeit des Sonnenaufgangs Statt, welcher aber jetzt auf eine weit spätere Stunde fällt, das Maximum ungefähr um 1 Uhr Nachmittags. Das tägliche Maximum ist aber im Durchschnitt nur um 2° höher als das tägliche Minimum.

Dieser Gang läßt sich leicht erklären. Von Sonnenaufgang bis gegen Mittag, während die Sonne immer höher steigt, empfängt die Erdoberfläche mehr Wärme als sie ausstrahlt, die Temperatur der Atmosphäre muß also steigen. Zur Mittagszeit ist jedoch die Temperatur der Erdoberfläche noch nicht so hoch, daß die Wärmestrahlung gegen den Himmelsraum der Insolation während der nächsten Stunden, in welchen die Sonne nur sehr langsam von ihrem höchsten Stande herabgeht, gleich käme, die Temperatur der Luft muß also noch steigen, bis die Erwärmung durch Insolation und die Erkaltung durch Wämestrahlung einander gleich sind. Dies findet im Sommer ungefähr um 2 Uhr, im Winter um 1 Uhr Nachmittags Statt. Von dieser Zeit an überwiegt bei fortwährend abnehmender Insolation die Wärmestrahlung mehr und mehr, bis mit dem nächsten Sonnenaufgange ein neues Steigen der Temperatur beginnt.

An manchen Orten leidet der normale Gang der täglichen Wärmevariationen durch örtliche Einflüsse, z. B. durch Windströmungen u. s. w., regelmäßige Störungen, durch welche die Zeit des Maximums etwas verrückt wird.

Die Größe der mittleren täglichen Temperaturveränderung ist, wie wir bereits gesehen haben, nicht für alle Monate dieselbe; sie beträgt zu München im Januar 2°, im Juli 6,2°. Ebenso ist die Größe dieser mittleren täglichen Veränderung an verschiedenen Orten nicht dieselbe, wie man aus folgender Tabelle ersieht, welche diese Größe für verschiedene Orte und die zwölf Monate des Jahres angiebt.

	Rio-Janeiro.	Bombay.	Frankfort-Arsenal.	Rom.	Prag	Halle.	Brüssel.	Greenwich.	Leith.	Petersburg.	Nertschinsk.	Boothia.
Januar . . .	2,58°	3,47°	5,33°	4,55°	1,42°	1,89°	1,84°	2,21°	1,18°	1,27°	4,94°	0,26°
Februar . . .	2,79	3,23	5,64	5,61	2,85	3,38	2,62	2,84	1,59	1,52	6,33	1,54
März	2,70	2,63	6.05	5.84	3,52	4,04	4,08	4,80	2,74	3,51	7,47	5,76
April	2,47	2,32	6,86	6,35	6,10	6,32	6,62	5,71	4,70	5,71	7,73	5,33
Mai	2,73	2,07	7,35	6,61	4,61	7,47	6,68	6,17	3,82	6,41	9,30	5,41
Juni	2,81	1,96	7,81	7,76	6,20	7,40	6,43	6,80	3,71	6,03	9,02	5,03
Juli	3,31	1,21	7,78	7,95	5,02	7,36	5,45	5,78	4,25	5,25	7,48	3,64
August . . .	2,67	1,47	6,97	7,71	4,67	7,14	7,11	6,55	3,37	6,40	7,92	2,72
September .	2,29	1,76	7,80	7,05	4,86	6,42	5,63	5,63	3,58	5,06	7,94	1,60
October . . .	2,13	2,70	7,49	7,09	3,45	5,42	3,36	4,08	2,16	2,34	7,91	1,03
November . .	2,54	3,21	4,27	5,58	2,40	2,76	2,17	2,64	1,85	0,77	5,11	0,63
December . .	2,60	3,89	4,76	4,53	2,05	1,67	2,30	1,87	1,03	0,83	4,17	0,27

Es sind dies die mittleren Differenzen zwischen dem Maximum und Minimum desselben Tages. An einzelnen Tagen ist diese Differenz weit größer, an anderen wieder bedeutend kleiner. Die folgende Tabelle enthält die größte und die kleinste Differenz zwischen dem Maximum und Minimum desselben Tages, welche während einiger Jahre zu Frankfurt a. M. in den einzelnen Monaten beobachtet worden ist.

	Größte Differenz			Kleinste Differenz		
	1844	1845	1846	1844	1845	1846
Januar . . .	6,3°	5,6°	7,2°	1,0°	0,2°	0,7°
Februar . . .	9,1	10,8	8,5	2,1	1,2	0,7
März	8,8	9,7	12,6	2,1	1,7	1,5
April	12,9	11,8	11,0	2,3	2,3	3,0
Mai	12,1	11,7	13,9	2,6	3,2	1,9
Juni	13,6	12,0	12,0	5,0	3,1	1,7
Juli	10,9	12,9	14,2	2,9	1,6	4,6
August	12,3	12,2	11,2	1,9	2,1	3,5
September .	12,2	11,8	13,3	2,7	2,6	3,0
October . . .	9,3	8,1	9,5	2,1	2,2	2,5
November . .	5,7	7,6	6,8	0,5	2,0	0,8
December . .	7,5	8,0	9,1	0,3	0,2	0,6

Diese Data sind den meteorologischen Beobachtungen des physikalischen Vereins zu Frankfurt a. M. entnommen.

Mittlere Temperatur der Tage, der Monate und des Jahres. 126
Nimmt man aus den 24 im Laufe eines Tages gemachten Temperaturbeobachtungen das Mittel, so erhält man die mittlere Temperatur des Tages.

Hat man auf diese Weise die mittlere Temperatur aller Tage eines Monats ermittelt, so erhält man die mittlere Temperatur des Monats, wenn man aus den 30 oder 31 Tagesmitteln wieder das Mittel nimmt.

Die aus den 12 Monatsmitteln gezogene Mittelzahl giebt dann die mittlere Temperatur des ganzen Jahres an.

So ergeben sich z. B. aus den zu Berlin angestellten Beobachtungen folgende Mittelwerthe für die Temperatur der einzelnen Monate und des ganzen Jahres von 1829 bis 1834:

	1829	1830	1831	1832	1833	1834	*D*
Januar . . .	— 4,66	— 6,11	— 3,71	— 1,13	— 2,69	2,83	— 1,90
Februar . . .	— 2,88	— 2,40	0,60	0,97	3,01	1,16	— 0,15
März	1,38	3,88	3,14	3,16	1,77	3,74	2,74
April	7,19	8,41	9,00	7,20	5,06	6,20	6,88
Mai	9,49	11,22	9,98	9,49	14,38	12,74	10,92
Juni	14,56	14,01	12,60	13,61	15,27	15,17	13,94
Juli	15,43	15,39	15,40	12,64	14,59	18,69	15,04
August . . .	13,85	14,17	14,63	14,65	11,31	16,77	14,43
September .	11,59	11,18	10,53	10,53	11,27	12,49	11,75
October . . .	6,35	7,28	9,74	7,62	7,04	7,69	7,97
November . .	0,71	4,72	2,71	2,62	3,39	3,81	3,25
December . .	— 6,93	— 0,47	1,43	1,08	3,80	1,68	1,32
Jahr	5,50	6,77	7,16	6,86	7,35	8,58	7,18

Hat man für einen Ort die mittlere Temperatur der einzelnen Monate und des ganzen Jahres während eines längeren Zeitraumes ermittelt, so ergiebt sich das allgemeine Monatsmittel, wenn man die Mitteltemperaturen desselben Monats, wie man sie in den einzelnen Jahren erhalten hat, addirt und die erhaltene Summe durch die Zahl der Beobachtungsjahre dividirt. Auf diese Weise haben sich aus einer Reihe von 24 Beobachtungsjahren die allgemeinen Monatsmittel für Berlin ergeben, wie man sie in der letzten Columne obiger Tabelle unter *D* findet.

Auf gleiche Weise ergiebt sich das allgemeine Jahresmittel, welches für Berlin 7,18° R. ist.

Je länger die Beobachtungsreihen fortgesetzt sind, desto richtiger werden die aus ihnen berechneten allgemeinen Monats- und Jahresmittel.

Es ist für die Meteorologie von der höchsten Wichtigkeit, das allgemeine Jahresmittel und die allgemeinen Monatsmittel von möglichst vielen Orten der verschiedensten Weltgegenden zu kennen; dahin würde man aber nicht leicht gelangen, wenn es nöthig wäre, wirklich von Stunde zu Stunde das Thermometer zu beobachten.

Solche stündliche Beobachtungen sind viel zu mühsam, sie bedürfen des Zusammenwirkens mehrerer Personen, und deshalb werden sie nur an verhältnißmäßig wenigen Orten angestellt werden können. Glücklicherweise kann man die mittlere Tages-, Monats- und Jahrestemperatur eines Ortes auch aus einer geringeren Anzahl von Beobachtungen ableiten, welche zu bequemen Tagesstunden angestellt werden.

Von der Mannheimer Societät wurden zu diesem Zwecke die Beobachtungsstunden 7 Uhr Morgens, 2 Uhr Nachmittags und 9 Uhr Abends vorgeschlagen, und diese Stunden werden auch in der That an den meisten Beobachtungsstationen von Deutschland und Nordamerika eingehalten. Andere ganz passende Beobachtungsstunden sind 6 Uhr Morgens, 2 Uhr Nachmittags und 8 Uhr Abends; oder die gleichnamigen Stunden 6 Uhr Morgens und 6 Uhr Abends, 7 Uhr Morgens und 7 Uhr Abends u. s. w.

Nimmt man das Mittel aus den Temperaturbeobachtungen, welche zur Zeit irgend einer der angedeuteten Stundencombinationen gemacht wurden, so erhält man eine Zahl, welche dem wahren Tagesmittel sehr nahe ist; ebenso erhält man nahezu das wahre Tagesmittel, wenn man das Mittel aus den täglichen Extremen nimmt, wie sie am Thermometrographen beobachtet werden.

Wie weit nun die auf diesem Wege erhaltenen Mittelzahlen mit den wahren Mitteln übereinstimmen, welche Correctionen etwa an ihnen anzubringen sind, kann man jedoch nur durch Vergleichung mit den stündlich angestellten Beobachtungen erfahren. Eine ausführliche Untersuchung über diesen Gegenstand hat Dove in den Abhandlungen der Berliner Akademie vom Jahre 1846 veröffentlicht (Seite 81). In diesem Aufsatze finden sich Tabellen, die angeben, welche Correction man an den zu einer beliebigen Stunde des Tages oder aus irgend einer Stundencombination gezogenen Mittelzahlen anbringen muß, um die wahren Mittel zu finden. Diese Tafeln enthalten für 27 verschiedene Orte, die man als Normalstationen bezeichnen kann, unmittelbar die in Réaumur'schen Graden anzubringende Verbesserung, um die zu irgend einer Stunde erhaltene Temperatur auf das tägliche Mittel zu reduciren. Ferner ist die Correction für die aus den gleichnamigen Stunden 6 . 6, 7 . 7 u. s. w., aus den Combinationen 7 . 2 . 9, — 6 . 2 . 8 u. s. w. und die aus den täglichen Extremen erhaltenen Resultate beigefügt. Die folgenden Tabellen für Halle und Kremsmünster sind ein Auszug aus jenen Dove'schen; aus ihnen kann man die Einrichtung und den Gebrauch solcher Tabellen ersehen.

Monate.	Halle.								Kremsmünster.							
	Morgens			Nachmittags				Tägliche Extreme.	Morgens			Nachmittags				Tägliche Extreme.
	6	9	12	3	6	7 . 7	7.2.9		6	9	12	3	6	7 . 7	7.2.9	
Januar . .	0,72	0,05	— 0,82	— 1,06	— 0,30	0,30	— 0,11	— 0,23	0,88	0,35	— 0,98	— 1,12	— 0,35	0,33	— 0,12	— 0,07
Februar . .	1,30	— 0,08	— 1,29	— 1,86	— 0,59	0,51	— 0,20	— 0,33	1,24	0,67	— 1,37	— 1,99	— 0,57	0,45	— 0,22	— 0,17
März . . .	1,42	— 0,66	— 1,73	— 2,10	— 0,91	0,45	— 0,18	— 0,20	1,82	0,30	— 1,56	— 1,99	— 1,08	0,43	— 0,13	— 0,07
April . . .	1,98	— 0,98	— 2,58	— 3,26	— 1,78	0,51	— 0,34	— 0,16	1,88	0,14	— 1,65	— 2,04	— 1,18	0,37	— 0,12	— 0,02
Mai	1,30	— 1,34	— 2,66	— 3,37	— 2,24	— 0,14	— 0,71	0,37	1,86	— 0,45	— 2,09	— 2,67	— 1,62	0,07	— 0,41	— 0,24
Juni . . .	1,18	— 1,34	— 2,68	— 3,46	— 2,22	— 0,16	— 0,70	0,24	1,54	— 0,86	— 2,17	— 2,62	— 1,66	— 0,18	— 0,52	— 0,31
Juli	1,24	— 1,30	— 2,65	— 3,54	— 2,16	— 0,08	— 0,65	0,14	1,54	— 0,42	— 1,75	— 2,33	— 1,38	0,09	— 0,31	— 0,15
August . .	1,90	— 1,20	— 2,90	— 3,57	— 1,96	0,26	— 0,49	0,00	1,80	— 0,37	— 1,86	— 2,46	— 1,49	0,13	— 0,32	— 0,17
September	1,97	— 1,14	— 2,72	— 3,27	— 1,83	0,43	— 0,35	— 0,09	2,34	0,28	— 1,81	— 2,65	— 1,66	0,38	— 0,23	— 0,14
October . .	1,90	— 0,71	— 2,44	— 2,76	— 1,20	0,61	— 0,29	— 0,30	1,91	0,62	— 1,68	— 2,49	— 1,14	0,48	— 0,28	— 0,19
November	0,92	— 0,31	— 1,35	— 1,52	— 0,40	0,39	— 0,20	— 0,35	0,93	0,51	— 0,97	— 1,28	— 0,41	0,35	— 0,17	— 0,13
December .	0,52	— 0,09	— 0,90	— 0,94	— 0,20	0,28	— 0,10	— 0,25	0,54	0,38	— 0,78	— 0,94	— 0,11	0,29	— 0,16	— 0,07

Dieselben Correctionselemente, die für irgend einen Ort ermittelt wurden, werden nun aber auch für einen großen Umkreis ohne merkliche Fehler gelten können. Hätte man also z. B. in Leipzig das Thermometer nur Mittags 12 Uhr beobachtet, und aus den 31 Beobachtungen des Januar das Mittel genommen, so hätte man von diesem Mittel noch die Zahl 0,82 abzuziehen, um das wahre Monatsmittel zu finden. Hätte man in den Stunden 7 . 2 . 9 beobachtet und das Mittel aus dreimal 31 Beobachtungen des Juli genommen, so würde dieses so erhaltene Mittel noch um 0,65° höher sein als das wahre Monatsmittel.

Jahresisothermen. Wir haben nun den Weg kennnen gelernt, auf 127
welchem man die allgemeinen Monatsmittel und das allgemeine Jahresmittel eines Ortes ermitteln kann. Entsprechende Beobachtungen sind nun nach und nach an Orten aller Welttheile gemacht und die daraus sich ergebenden Mittelwerthe in Tabellen zusammengestellt worden. Die vollständigste Tabelle der Art ist die, welche Dove in den Abhandlungen der Berliner Akademie vom Jahre 1846 veröffentlicht hat (S. 153). Sie giebt für 900 Stationen die allgemeinen Monatsmittel und das allgemeine Jahresmittel. Wir wollen uns zunächst mit der Betrachtung der Jahresmittel abgeben.

Die nachfolgende Tabelle, welche der angeführten Dove'schen entnommen ist, enthält das allgemeine Jahresmittel für 164 verschiedene Orte in Réaumur'schen Graden.

Westindien.

	Breite.	Länge von Greenwich.	Höhe über dem Meere.	Mittlere Jahres-temperatur.
Antigua	17° 8′	61° 48′ W.	—	21,15
Bermudas	32 20	64 50	—	15,73
Domingo	18 29	70	—	21,91
Havannah	23 9	82	—	20,07
Maracaibo	10 43	71 52	—	23,45
Paramaribo	5 45	55	—	21,47

Mexico und Südamerika.

St. Fe de Bogota . .	4° 36′	74° 14′ W.	8100′	12,33
Mexico	19 26	99 6	6990	12,70
Lima	12 3 S.	77 8	530	18,36
Quito	0 14 S.	78 45	8970	12,49
Rio-Janeiro . . .	22 54 S.	43 16	—	18,56
Falkland-Inseln . .	52 0 S.	61	—	6,77

Vereinigte Staaten von Nordamerika und Canada.

	Breite.	Länge von Greenwich.	Höhe über dem Meere.	Mittlere Jahres-temperatur.
Albany	42° 39′	73° 44′ W.	123	7,2
St. Augustin	29 50	81 27	—	17,83
Augusta	33 28	81 54	—	13,29
Baltimore	39 18	76 35	—	9,53
Charlestown	32 47	79 57	—	15,15
Cincinnati	39 6	84 27	—	9,24
Concord	43 12	71 29	—	5,56
Councilbluffs	41 25	95 43	760	8,52
Halifax	44 39	63 38	—	3,56
St. Louis	38 36	89 36	—	10,29
Marietta	39 25	81 30	—	9,08
Natchez	31 34	91 25	—	15,16
New-Orleans	29 58	90 7	—	16,80
New-York	40 43	74 1	—	8,7
Pittsburg	40 32	80 8	—	9,89
Fort Roß	38 34	123 59	—	9,27
Quebec	46 48	71 17	—	4,38
Salem	42 31	70 54	—	7,49
Fort Snelling	44 53	93 8	820	6,09
Fort Vancouver . . .	48 37	122 37	—	8,77

Polarländer.

	Breite.	Länge von Greenwich.	Höhe über dem Meere.	Mittlere Jahres-temperatur.
Boothia Felix	69° 59′	92° 1′ W.	—	— 12,58
Fort Franklin	65 12	123 13	230	— 6,59
Insel Melville	74 47	110 48	—	— 13,67
Nain	57 10	61 50	—	— 1,86
Raykiavig	64 8	21 55	—	3,30
Sitcha	57 3	135 18	—	5,97
Fort Simpson	62 11	121 32	—	— 3,06

Großbritannien.

	Breite.	Länge von Greenwich.	Höhe über dem Meere.	Mittlere Jahres-temperatur.
Bristol	51° 27′	2° 36′ W.	—	8,74
Carlisle	54 54	2 58	36	6,66
Dublin	53 21	6 11	—	7,57
Edinburgh	55 58	3 11	220	6,72
Liverpool	53 25	2 59	—	8,36
London	51 30	0 5	—	8,28
Plymouth	50 22	4 7	—	8,92
Thorshavn	62 2	6 46	—	6,03
Weck	58 29	3 5	—	6,64

Frankreich.

	Breite.	Länge von Greenwich.	Höhe über dem Meere.	Mittlere Jahrestemperatur.
Bordeaux	44° 50′	0° 35′ O.	—	11,13
Dünkirchen	51 5	2 22	—	8,69
Marseille	43 18	5 22	140	11,34
Montpellier	43 36	3 53	100	12,23
Nantes	47 13	1 33	—	10,18
Paris	48 80	2 20	114	8,58
Perpignan	42 42	2 54	160	12,33
Rochelle	46 9	1 10	—	9,34
Straßburg	48 35	7 45	418	7,86
Toulon	43 7	5 55	76	13,46

Niederlande.

	Breite.	Länge von Greenwich.	Höhe über dem Meere.	Mittlere Jahrestemperatur.
Amsterdam	52° 23′	4° 53′ O.	—	7,94
Brüssel	50 51	4 22	—	8,30
Lüttich	50 39	5 32	—	9,19
Rotterdam	51 56	4 29	—	8,45

Schweiz.

	Breite.	Länge von Greenwich.	Höhe über dem Meere.	Mittlere Jahrestemperatur.
Basel	47° 34′	7° 32′ O.	750	7,69
Bern	46 57	7 26	1790	6,21
St. Bernhard	45 50	6 6	7670	— 0,81
Chur	46 50	9 38	1880	7,60
St. Gallen	47 26	10 22	1700	7,33
Genf	46 12	6 10	1250	8,20
St. Gotthard	46 32	8 33	6650	— 0,84
Lausanne	46 31	6 38	1530	7,54
Zürich	47 23	8 32	1250	7,14

Italien.

	Breite.	Länge von Greenwich.	Höhe über dem Meere.	Mittlere Jahrestemperatur.
Aetna	37° 46′	15° 1′ O.	9210	— 1,08
Bologna	44 30	11 21	270	11,44
Florenz	43 47	11 15	220	12,11
Genua	44 24	8 54	—	13,68
Mailand	45 28	9 11	720	10,30
Messina	38 11	15 34	30	14,98
Neapel	40 52	14 15	—	12,25
Palermo	38 7	13 22	—	15,60
Rom	41 54	12 25	160	12,66
Turin	45 4	7 41	867	9,39
Venedig	45 26	12 21	—	10,41

Deutschland.

	Breite.	Länge von Greenwich.	Höhe über dem Meere.	Mittlere Jahrestemperatur.
Augsburg	48° 21′	10° 53′ O.	1470	6,60
Berlin	52 30	13 24	100	7,18
Braunschweig	52 15	10 32	300	7,96
Breslau	51 7	17 2	370	6,64
Brocken	51 48	10 37	3500	0,70
Carlsruhe	49 1	8 25	320	8,30
Coblenz	50 22	7 36	200	8,65
Danzig	54 20	18 41	—	6,06
Dresden	51 3	13 44	360	7,60
Düsseldorf	51 14	6 47	90	8,78
Frankfurt a. M. . . .	50 10	8 37	333	7,84
Halle	51 30	11 57	340	6,97
Hamburg	53 33	9 58	—	7,13
Heidelberg	49 28	8 42	313	8,65
Insbruck	47 16	11 23	1770	7,46
Königsberg	54 43	20 29	70	4,97
München	48 9	11 36	1573	7,28
Prag	50 5	16 46	583	8,10
Tübingen	48 31	9 3	990	6,57
Wien	48 13	16 23	450	8,46
Würzburg	49 48	9 56	525	8,35

Skandinavien.

Bergen	60° 24′	5° 18′ O.	—	6,57
Christiania	59 55	10 43	75	4,20
Drontheim	63 26	10 25	—	3,59
Kafiord	69 58	23 34	70	1,35
Kopenhagen	55 41	12 35	—	6,47
Lund	55 42	13 11	60	5,84
Stockholm	59 21	18 4	130	4,52
Torneo	66 24	13 47	—	— 0,42

Rußland.

	Breite.	Länge von Greenwich.	Höhe über dem Meere.	Mittlere Jahrestemperatur.
Archangel	64° 32′	40° 33′ O.	—	0,68
Astrachan	46 21	48 8	70	8,02
Barnaul	53 20	83 27	370	— 0,28
Enontekis	68 30	20 47	1380	— 4,18
Irkutzk	52 17	104 17	1355	0,27
Jakutzk	62 1	129 44	—	— 8,25
Kasan	55 48	49 7	140	1,53
Moskau	55 45	37 38	380	3,57
Nertschinsk	51 18	119 20	2100	— 3,17
Petersburg	59 56	30 18	—	3,38
Sebastopol	44 36	33 32	—	9,32
Tiflis	41 41	45 17	—	10,11
Ustjansk	70 58	138 24	—	— 12,44

Ungarn, Galizien und Küsten des mittelländischen Meeres.

Bukarest	44° 27′	26° 8′ O.	—	6,38
Ofen	47 29	19 3	810	6,88
Constantinopel	41 0	29 0	—	10,87
Canea	35 29	24 0	—	14,42
Bagdad	33 21	44 22	—	18,52
Algier	36 47	0 33	—	14,34
Tunis	36 48	10 11	—	16,34
Barcelona	41 23	2 12	—	13,79
Gibraltar	36 7	5 21 W.	—	15,75
Lissabon	38 42	9 9 W.	—	13,07
Madrid	40 25	3 41 O.	1940	11,63
Cairo	30 2	29 48	—	17,84

Tropisches Afrika.

Funchal	32° 38′	16° 56′ W.	80	15,83
Guinea	5 30	0 0	—	21,95
St. Helena	15 55 S.	5 43 W.	1660	13,07
Capstadt	33 56 S.	18 28 O.	—	15,32
Kouka	13 10	14 30	—	22,95
Souillac, Mauritius . .	—	—	—	21,08
Abuscheher	28 15	50 54	—	20,03

Ostindien und China.

	Breite.	Länge von Greenwich.	Höhe über dem Meere.	Mittlere Jahrestemperatur.
Ava	21° 58	96° 5′ O.	—	20,61
Batavia	6 9 S.	106 53	—	20,59
Benares	25 18	82 56	300	21,45
Bombay	18 56	72 54	—	21,89
Calcutta	22 38	88 20	80	22,40
Canton	23 8	113 16	—	16,83
Colombo	6 57	80 0	—	21,67
Darjiling	27 7	88 21	6960	10,97
Macao	22 11	113 34	—	17,86
Madras	13 4	80 19	—	22,20
Manilla	14 36	129 0	—	20,63
Mastorea	30 27	78 2	6100	10,99
Peking	39 54	116 26	—	10,13
Seringapatam	12 45	76 51	2270	19,45
Singapore	1 17	103 50	—	21,63
Trevandrum	8 31	77 0	—	21,00

Australien.

Adelaide	34° 35′ S.	138° 45′	—	16,20
Albany	35 2	117 55	—	12,47
Fort Dundas	11 25	132 25	—	21,61
Haborttown	42 53	147 28	—	9,07
Paramatta	33 49	151 1	—	14,36

Aus dieser Tabelle ersieht man zunächst, daß Orte von gleicher geographischer Breite keineswegs auch gleiche mittlere Jahreswärme haben. Vergleichen wir in dieser Beziehung nur Nordamerika mit Europa, so tritt ein auffallender Unterschied hervor. New-York liegt noch etwas südlicher als Rom, und doch ist seine mittlere Jahreswärme um 4° R. geringer; die Stadt Bergen in Norwegen hat noch eine mittlere Jahreswärme von 6,57°, während zu Nain auf der Küste Labrador (57° 10′ n. Br.), einem um drei Breitegrade südlicher gelegenen Orte, die mittlere Jahreswärme nur — 1,86° beträgt. Bei gleicher geographischer Breite ist es in Nordamerika also stets kälter als in Europa. Ein ähnliches Verhältniß stellt sich bei der Vergleichung von Europa mit dem nördlichen Asien heraus.

Eine klare Uebersicht über die Vertheilung der Wärme auf der Erde hat zuerst Humboldt durch seine isothermischen Linien möglich gemacht, durch

welche er auf einer Erdkarte alle Orte derselben Hemisphäre verband, welche gleiche mittlere Jahreswärme haben. Seine Abhandlung über die Isothermen und die Vertheilung der Wärme auf der Erde erschien im Jahre 1817 im dritten Bande der »Mémoires de la société d'Arcueil«.

Humboldt's Abhandlung enthält eine Tabelle, welche die mittlere Jahreswärme für 60 verschiedene Orte angiebt, und nach diesen legte er seine Isothermen. Seit jener Zeit aber sind durch zahlreiche Beobachtungen die klimatischen Verhältnisse vieler Orte genauer ermittelt worden, ohne daß dadurch der Typus der großen Krümmungen der Isothermen, wie sie von Humboldt bestimmt worden waren, eine wesentliche Aenderung erfahren hätte.

Die neueste Isothermenkarte ist die von Dove entworfene, bei deren Anfertigung die bereits erwähnte Tabelle zu Grunde gelegt wurde, welche die mittlere Jahreswärme für 900 verschiedene Orte enthält. Die Karte Tab. XVI ist eine Copie der Dove'schen.

In dieser Karte sind die Isothermen von vier zu vier Grad Réaumur gezogen und jeder Linie ist die entsprechende Gradzahl beigeschrieben.

Der Gürtel der Erde, dessen mittlere Jahrestemperatur mehr als 20° R. beträgt, ist roth angelegt, während die Gegenden, deren mittlere Jahrestemperatur unter 0° ist, durch blaue Färbung unterschieden sind.

Tab. XVII zeigt die Jahresisothermen auf der nördlichen Erdkugel bis zum 30. Grad nördlicher Breite in Polarprojection.

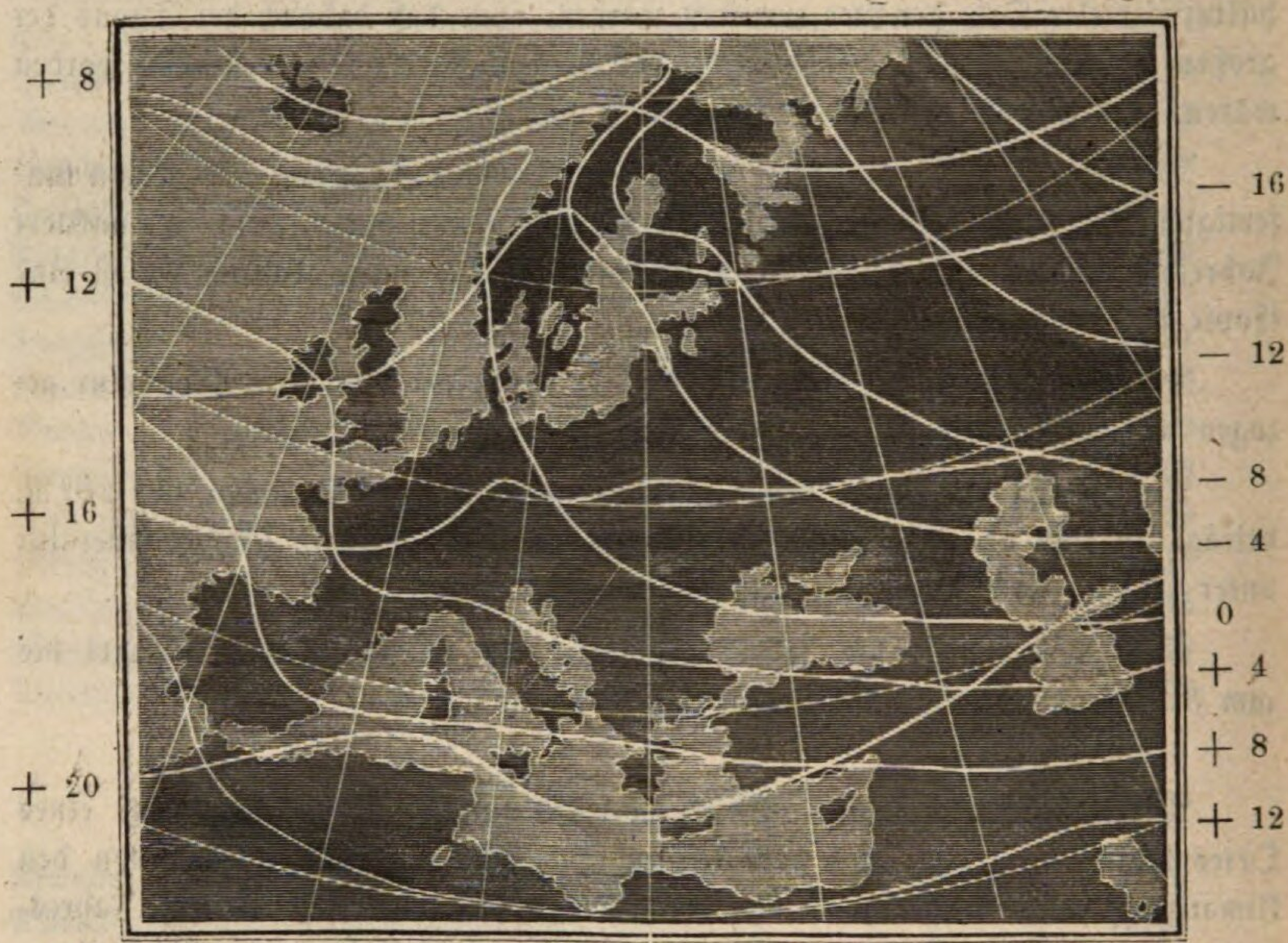
Monatsisothermen. Wenn man die mittlere Jahrestemperatur eines Ortes kennt, so genügt dies noch keineswegs, um ein richtiges Bild von den klimatischen Verhältnissen desselben zu geben; denn bei gleicher mittlerer Jahrestemperatur kann der Gang der Wärme im Laufe eines Jahres, die Vertheilung der Wärme auf die einzelnen Jahreszeiten eine sehr verschiedene sein. So haben z. B., wie man aus obiger Tabelle sieht, Edinburgh und Tübingen fast gleiche mittlere Jahreswärme (6,72° und 6,57° R.), in Edinburgh aber ist die mittlere Temperatur des Winters + 2,9°, in Tübingen hingegen nur 0,16°. Tübingen hat also einen weit kälteren Winter als Edinburgh, dagegen ist die mittlere Sommertemperatur für Tübingen 13,7°, für Edinburgh nur 11,3°. Bei gleicher mittlerer Jahrestemperatur hat also Edinburgh einen gelinderen Winter und einen kühleren Sommer als Tübingen. 128

Um die Wärmeverhältnisse eines Landes zu kennen muß man außer der mittleren Jahrestemperatur auch noch wissen, wie sich die Wärme auf die verschiedenen Jahreszeiten vertheilt. Diese Vertheilung kann man auf einer Isothermenkarte nach Humboldt's Beispiel dadurch andeuten, daß man an den verschiedenen Stellen einer und derselben Isotherme die mittlere Sommertemperatur des entsprechenden Ortes über, die entsprechende Wintertemperatur aber unter die Curve setzt.

Eine sehr gute Uebersicht in Beziehung auf die Vertheilung der Wärme

zwischen Winter und Sommer gewährt eine Karte, in welcher man alle Orte durch Curven verbindet, welche gleiche mittlere Wintertemperatur haben, und dann wieder diejenigen, für welche die mittlere Sommertemperatur gleich ist. Die Linien gleicher mittlerer Sommertemperatur heißen Isotheren, die Linien gleicher mittlerer Wintertemperatur heißen Isochimenen. Fig. 186 stellt ein Kärtchen von Europa mit den Isotheren und Isochimenen von 4 zu 4 Grad dar.

Fig. 186.



Diejenigen Curven, deren entsprechende Temperaturen an der rechten Seite der Karte stehen, sind die Isochimenen, die anderen sind die Isotheren. Man sieht aus dieser Karte leicht, daß die Westküste des südlichen Theils von Norwegen, Dänemark, ein Theil von Böhmen und Ungarn, Siebenbürgen, Bessarabien und die Südspitze der Halbinsel Krim gleiche mittlere Wintertemperatur von 0° haben. Böhmen hat aber gleichen Sommer mit dem Ausfluß der Garonne, und in der Krim ist der Sommer noch weit wärmer. Dublin hat eine gleiche mittlere Wintertemperatur, nämlich 4°, mit Nantes, Oberitalien und Constantinopel, und gleiche Sommerwärme von 12° mit Drontheim und Finnland.

Die Isothere von 16° geht vom Ausfluß der Garonne ungefähr über Straßburg und Würzburg nach Böhmen, der Ukraine, dem Lande der Donischen Kosaken, und geht etwas nördlich vom Kaspischen Meere vorbei; wie ungleich aber ist die mittlere Wintertemperatur an verschiedenen Orten dieser Isothere! An der Westküste von Frankreich ist sie 4°, in Böhmen 0°, in der Ukraine — 4° und etwas nördlich von Kaspischen Meere gar — 8°.

Eine noch weit vollständigere Uebersicht über den Gang der Temperatur

an irgend einem Orte erhält man, wenn aus möglichst vieljährigen Beobachtungen die allgemeine Mitteltemperatur für jeden einzelnen Monat bestimmt wird. Dove hat nun mit Benutzung alles ihm zugänglichen Beobachtungsmaterials eine Tabelle zusammengestellt, welche die allgemeinen Monatsmittel für 900 Orte enthält und hat nach dieser Tabelle Isothermenkarten für jeden einzelnen Monat des Jahres construirt. Die Tabelle auf Seite 296 bis 299 ist ein Auszug aus der Dove'schen, und in den Karten Tab. XVIII und Tab. XIX sind die Monatsisothermen für die Monate Januar und Juli eingetragen.

Aus denselben Gründen, aus welchen die Mittagsstunde nicht die heißeste Stunde des Tages ist, sondern die höchste Temperatur im Laufe eines Tages erst einige Stunden nach der Culmination der Sonne stattfindet, erreicht auch die Sommerwärme im Durchschnitt erst nach dem Sommersolstitium ihr Maximum, und so ist denn, wo nicht locale Ursachen eine Störung veranlassen, in der ganzen nördlichen gemäßigten Zone der Juli der heißeste Monat, wovon man sich in der folgenden Tabelle überzeugen kann; ebenso folgt die größte Winterkälte erst nach dem Wintersolstitium, und im Durchschnitt ist auch auf der nördlichen Halbkugel der Januar der kälteste Monat.

Wenn nun aber, wie es doch natürlich erscheint, der heißeste Monat die Mitte des Sommers, der kälteste die Mitte des Winters bilden soll, so ist klar, daß die meteorologische Eintheilung der Jahreszeiten von der astronomischen, bei welcher die Jahreszeiten durch die Solstitien und Aequinoctien abgetheilt werden, abweichen muß. In der That sind nach meteorologischem Sinne die Jahreszeiten der nördlichen gemäßigten Zone in folgender Weise zusammengesetzt. Den Winter bilden: December, Januar und Februar; den Frühling: März, April und Mai; den Sommer: Juni, Juli und August; den Herbst endlich September, October und November.

Tafel der mittleren Monatstemperaturen

	Januar.	Februar.	März.	April.	Mai.
Antigua	20,20	19,80	19,84	20,38	21,35
Bermudas	11,04	11,92	12,16	13,68	16,48
Havannah	17,50	18,68	18,70	19,83	20,43
Mexico	9,11	10,83	12,95	13,77	15,18
Quito	11,66	12,88	12,46	12,38	12,72
Falklands-Inseln . . .	10,66	9,77	8,72	7,40	6,51
Albany	— 3,58	— 3,08	1,28	7,04	12,33
St. Augustin	12,77	14,65	15,80	16,92	19,95
Council Bluffs	— 4,17	— 2,40	2,41	8,81	15,36
Concord	— 4,80	— 4,51	— 0,57	4,62	10,14
Marietta	0,01	0,90	4,86	9,41	13,28
New-Orleans	11,00	11,73	15,37	17,96	20,12
Fort Roß	7,05	6,96	7,46	8,43	9,64
Quebec	— 7,15	— 8,60	— 4,15	3,41	10,15
Fort Vancouver	2,66	4,88	5,33	6,22	9,77
Melville-Inseln	— 28,12	— 28,64	— 22,31	— 17,87	— 6,75
Nain	— 13,80	— 12,66	— 10,88	— 0,90	1,88
Raykiavig	— 0,97	— 1,64	— 0,95	1,98	5,69
Sitcha	1,02	0,71	2,67	3,84	7,19
Dublin	2,88	3,98	4,64	6,66	8,98
Edinburgh	2,39	2,76	3,79	5,41	8,15
London	2,22	3,78	4,44	7,11	10,22
Bordeaux	4,0	5,8	8,6	10,7	12,8
Montpellier	4,5	5,7	7,5	11,3	14,4
Paris	1,53	3,35	5,33	7,9	11,59
Amsterdam	0,53	2,14	3,88	7,17	10,53
Brüssel	1,46	3,27	4,79	6,79	11,14
Basel	— 0,74	1,10	4,16	7,51	11,46
St. Bernhard	— 6,94	— 6,14	— 4,51	— 2,09	1,79
Chur	— 1,18	1,52	4,61	6,94	12,57
Mailand	0,54	2,80	6,17	10,07	14,26
Neapel	6,52	6,82	8,01	10,31	13,85
Palermo	8,63	8 59	9,78	11,71	14,58
Rom	5,79	6,82	8,74	11,47	14,78

verschiedener Orte in Réaumur'schen Graden.

Juni.	Juli.	August.	Septbr.	October.	November.	December.	Differenz.
21,53	21,75	22,17	22,00	21,71	22,15	20,93	2,37
18,32	19,44	19,84	19,92	18,24	15,04	12,72	8,40
21,78	21,98	22,03	21,50	20,82	19,17	18,46	4,53
14,84	14,82	14,64	14,36	12 54	10,60	8,91	6,27
12,00	12,08	13,06	12,04	12,42	12,28	12,68	1,40
5,11	2,40	2,95	6,11	6,89	6,70	7,94	8,26
16,02	17,80	16,86	13,06	7,64	2,70	— 1,65	21,38
21,96	22,58	22,52	21,40	18,59	14,02	12,85	9,81
18,66	20,17	19,60	14,77	9,62	2,91	— 3,46	24,34
13,98	15,59	14,94	10,88	7,28	2,24	— 3,10	20,39
16,56	18.12	17,32	14,01	8,79	4,52	1,22	18,11
22,12	22,32	22,28	21,08	16,76	11,87	9.00	13,32
10,78	11,52	11,65	11.11	10,06	8,82	7,73	4,69
14,20	18,40	15,50	13,50	4,80	0,50	— 8,05	26,45
13,77	15,11	15,11	12,88	9,77	4,88	4,88	12,45
1,87	4,64	0,26	— 4,21	— 15,48	— 23,62	— 23,83	33,28
4,68	8,08	8,44	5,77	0,88	— 2,44	— 11,33	22,24
8,70	10,75	9,27	6,42	2,18	— 0,69	— 1,15	12,39
9,70	11,16	11,46	10,65	6,50	4,84	1,92	10,45
11,26	12,76	12,74	10,56	8,00	4,93	3,57	9,88
10,68	11,86	11,22	9,53	7,46	4,19	3,44	9,47
12,89	14,00	14,02	12,00	8,66	6,00	3,78	12,00
15,5	18,3	18,3	15,6	11,6	7,3	5,0	14,3
18,0	20,6	20,0	17,0	13,3	8,3	6,1	16,10
13,66	14,96	14,82	12,52	9,0	5,41	2,92	13,43
13,56	14,82	14,80	12,72	8,51	4,41	2,17	14,29
13,91	14,39	14,41	12,13	8,78	5,22	3,28	12,95
13,86	15,09	14,72	11,75	8,05	3,07	1,57	15,83
3,89	5,44	5,38	3,02	— 0,41	— 3,63	— 5,66	12,38
13,18	15,00	14,18	12,05	8,17	4,28	— 0,10	16,18
17,19	19,00	18,48	15,32	11,09	6,70	2,03	18,46
17,23	19,04	18,58	16,34	13,16	9,68	7,45	12,52
17,40	19,43	19,71	18,06	15,56	12,18	10,10	11,12
17,38	19,54	19,40	16,92	14,58	9,50	7,02	13,75

Tafel der mittleren Monatstemperaturen

	Januar.	Februar.	März.	April.	Mai.
Berlin	— 1,90	— 0,15	2,74	6,88	10,92
Carlsruhe	— 0,14	1,97	4,57	8,36	12,41
Danzig	— 2,02	— 0,54	1,44	5,07	8,92
Dresden	— 1,25	0,58	3,52	7,82	11,70
Frankfurt a. M.	— 0,24	2,08	4,24	7,60	11,44
München	— 1,07	0,45	4,08	6,63	11,38
Prag	— 1,95	— 0,27	3,94	9,16	12,66
Tübingen	— 1,44	0,46	3,28	6,96	10,48
Wien	— 1,21	0,68	3,91	8,82	13,40
Bergen	1,34	2,06	2,48	5,48	8,59
Stockholm	— 3,42	— 2,37	— 1,07	2,12	7,23
Torneo	— 12,71	— 11,03	— 7,31	— 2,26	4,01
Archangel	— 11,3	— 10,2	— 4,49	— 0,27	4,30
Astrachan	— 8,60	— 4,92	1,70	9,09	16,74
Irkutzk	— 15,69	— 12,10	— 5,32	1,86	7,85
Jakutzk	— 34,43	— 27,05	— 17,08	— 6,95	2,18
Moskau	— 8,19	— 7,11	— 2,33	4,32	9,98
Tiflis	— 0,05	0,84	4,62	9,11	14,46
Algier	9,32	10,14	10,66	12,02	15,26
Gibraltar	11,56	11,39	13,87	15,11	16,69
Cairo	11,60	10,72	14,48	20,40	20,56
Bukarest	— 3,56	— 5,20	— 0,12	5,48	10,81
Funchal	14,00	13,84	14,32	14,40	14,56
St. Helena	14,21	15,06	15,22	14,94	13,80
Capstadt	18,83	19,54	18,11	15,60	13,39
Kouka	19,44	22,72	25,28	26,80	26,20
Batavia	20,44	20,88	21,10	20,88	21,33
Calcutta	16,57	19,16	22,89	25,29	25,95
Peking	— 2,98	— 2,40	4,27	11,12	17,63
Singapore	20,65	21,46	21,51	21,80	22,10
Fort Dundas	22,69	22,72	22,64	22,40	21,60
Haborttown	13,84	13,84	10,40	9,52	6,08
Adelaide	23,31	21,00	20,75	14,86	13,06

verschiedener Orte in Réaumur'schen Graden.

Juni.	Juli.	August.	Septbr.	October.	November.	December.	Differenz.
13,94	15,04	14,43	11,75	7,97	3,25	1,32	16,94
14,45	15,83	15,41	12,56	8,33	4,24	1,58	15,97
12,12	14,04	13,73	10,70	6,69	2,69	— 0,09	16,06
14,74	15,77	14,82	11,67	8,02	3,04	0,75	17,02
14,00	15,14	14,99	12,18	7,66	3,98	1,00	15,38
13,38	14,55	14,26	11,63	7,65	3,12	1,29	15,62
15,09	16,72	16,25	13,25	8,13	3,52	0,68	18,67
12,72	14,24	13,84	11,20	7,04	1,44	— 1,12	15,68
15,77	17,22	16,87	13,29	8,54	3,71	0,46	18,43
10,91	12,62	11,94	9,94	7,13	3,95	2,55	11,28
11,13	13,98	12,80	9,62	5,42	1,50	— 2,15	17,40
10,58	13,06	10,88	6,34	0,17	— 0,38	— 10,38	25,77
10,30	12,81	11,37	6,94	1,43	— 4,17	— 8,66	24,11
18,32	19,98	20,29	16,14	8,06	3,05	— 3,58	28,89
12,66	14,60	12,07	6,89	0,85	— 6,71	— 13,68	30,29
11,68	16,35	11,60	5,38	— 6,85	— 24,18	— 29,68	50,78
13,50	15,29	13,83	9,42	3,33	— 2,16	— 7,10	23,48
17,96	20,57	19,99	15,13	11,04	5,52	2,11	20,62
17,56	19,22	19,77	18,30	16,22	13,30	10,29	10,45
19,17	21,09	20,84	18,59	15,72	13,37	11,63	9,70
22,96	23,92	23,92	20,96	17,92	13,76	13,04	13,20
13,58	16,07	14,74	11,69	7,71	4,82	0,48	19,63
16,32	18,00	18,48	18,64	17,36	15,84	14,16	4,80
12,47	11,56	11,19	11,14	11,66	12,38	13,23	4,08
11,50	11,37	12,70	13,29	14,64	16,95	17,94	8,17
25,60	22,96	21,52	22,80	23,68	21,20	17,72	9,08
20,22	20,44	20,88	20,88	20,00	19,11	20,88	2,22
25,18	23,95	23,82	24,02	23,29	20,77	17,94	9,38
21,71	22,05	21,74	16,51	10,47	3,11	— 1,71	25,03
22,02	22,38	21,82	21,79	21,81	21,47	20,85	1,65
20,16	17,84	19,60	20,80	22,24	22,96	23,44	5,60
3,84	3,60	6,00	6,72	9,84	11,36	13,76	10,24
11,66	9,89	11,62	12,58	16,06	18,00	22,22	13,42

129 **Thermische Isanomalen.** Ein Blick auf die Karte der Jahresisothermen belehrt uns, wie ungleich die mittlere Jahreswärme an verschiedenen Orten desselben Breitegrades ist. Auf dem 60. Breitegrade z. B. ist die mittlere Jahrestemperatur auf dem Meere zwischen Asien und Amerika gleich 0°, an der Westküste der Hudsonsbay ist sie ungefähr — 6°, in der Nähe der Südspitze von Grönland wieder 0°; auf dem Meere nördlich von Schottland + 6°; in Petersburg etwas über + 3,4°, auf dem Ural 0° und im Inneren von Asien wieder — 7° R.

Ermittelt man mit Hülfe der Isothermenkarte durch Interpolation die mittlere Wärme für die auf demselben Breitegrade liegenden Punkte, deren Länge 10°, 20° u. s. w. bis 360° ist, so erhält man die mittlere Wärme für 36 gleichweit von einander abstehende Punkte desselben Parallelkreises. Nimmt man aus den 36 so erhaltenen Werthen das Mittel, so erhält man eine Zahl, welche Dove die normale Temperatur des Parallels nennt. Nach Dove's Bestimmungen sind Folgendes die Werthe der normalen mittleren Jahrestemperatur für die einzelnen Parallelkreise:

90° nördl. Breite	— 13,2° R.	20° nördl. Breite	— 20,2° R.
80 » »	— 11,2	10 » »	21,3
70 » »	— 7,1	0 » »	21,2
65 » »	— 4,2	–10 südl. Breite	20,4
60 » »	— 0,8	20 » »	18,7
50 » »	4,3	30 » »	15,5
40 » »	10,9	40 » »	10,0
30 » »	16,8		

Mit Hülfe dieser Tabelle kann man nun leicht sehen, ob und wieviel die mittlere Jahreswärme eines Ortes höher oder tiefer ist als die normale mittlere Jahrestemperatur des Parallels. So ist z. B. die mittlere Jahrestemperatur von Petersburg, welches ungefähr unter dem 60. Breitegrade liegt, 3,4°, also um 4,2° höher als die Normaltemperatur des Parallels oder, um es kurz auszudrücken, die mittlere Jahrestemperatur von Petersburg ist um 4,2° zu hoch. In gleichem Sinne ist dagegen die mittlere Jahrestemperatur von Nertschinsk, — 3,2°, ungefähr um 6,8° zu niedrig, da die normale mittlere Jahreswärme für den Parallel von 51° 15′, unter welchem Nertschinks liegt, wie sich durch Interpolation aus obiger Tabelle ermitteln läßt, + 3,6° beträgt.

Diese Differenz zwischen der mittleren Temperatur eines Ortes und der Normaltemperatur seines Parallels nennt Dove die thermische Anomalie. Mit dem Namen der thermischen Isanomalen bezeichnet er dagegen solche auf einer Karte gezogenen Curven, welche eine Reihe von Orten mit einander verbinden, denen eine gleiche thermische Anomalie zukommt. In der Karte Tab. XX sind die thermischen Isanomalen des Jahres eingetragen. Um die Uebersicht zu erleichtern, sind die Gegenden, in welchen die mittlere Jahreswärme zu hoch ist, weiß gelassen, diejenigen, in welchen sie zu niedrig ist, dagegen blau angelegt.

So übersieht man denn hier mit einem Blicke, daß die mittlere Jahreswärme von ganz Europa, Kleinasien, Arabien, Persien, Ostindien und dem größten Theile von Afrika und Australien höher ist als die Normaltemperatur des Jahres für die entsprechenden Parallelkreise; dagegen hat in gleicher Weise der ganze asiatische Continent bis auf die eben genannten südwestlichen Theile, und der Continent von Nordamerika bis auf die nordwestlichen Küsten und Florida eine zu geringe mittlere Jahreswärme.

Auf dieser Karte sehen wir aber auch, wie groß die thermische Anomalie eines jeden Ortes ist; wir sehen zum Beispiel, daß in der Mitte von Spanien, Sicilien und Moskau die mittlere Jahreswärme um 2°, in Island, dem nördlichen Schottland, in der Umgegend von Drontheim um 6° zu hoch ist. Dagegen läuft eine thermische Isanomale von — 2° südwestlich von Fort Snelling vorbei, in der Nähe von Washington und Boston vorüber nach Neu-Foundland u. s. w.; zu Washington und Boston ist also die mittlere Jahrestemperatur um 2° zu niedrig.

In derselben Weise, wie die Curven der Karte Tab. XX aus den Jahresisothermen abgeleitet worden sind, hat Dove auch die Monatsisothermen benutzt, um die thermischen Isanomalen für jeden einzelnen Monat zu construiren. Tab. XXI und Tab. XXII enthalten die thermischen Isanomalen der Monate Januar und Juli.

Aus dem Laufe der thermischen Isanomalen des Januar ersehen wir, daß die mittlere Temperatur dieses Monats an den nordwestlichen Küsten von Nordamerika und namentlich an den westlichen Küsten von Europa viel zu hoch ist; daß dagegen dieser Monat im Inneren und an den Ostküsten von Nordamerika, sowie auf dem asiatischen Continent, und namentlich in Sibirien, viel zu kalt ist. In London ist die mittlere Temperatur des Januar um 8°, in Drontheim ist sie um 12° zu hoch; dagegen ist sie am unteren Ende des Oberen Sees in Nordamerika 6°, zu Jakutzk in Sibirien 17° niedriger als die Normaltemperatur der entsprechenden Parallelkreise für den genannten Monat.

Anders gestalten sich die Verhältnisse im Juli; in diesem Monate zeigt sich in Sibirien ein größerer, in Europa nur ein unbedeutender Ueberschuß über die Normaltemperatur der entsprechenden Parallelkreise, während an den Ostküsten von Nordamerika auch dieser Monat zu kalt bleibt.

Land- und Seeklima. Die ungleiche Vertheilung von Land und Wasser auf unserer Erdoberfläche veranlaßt eine ungleiche Erwärmung an verschiedenen Stellen, sie bedingt großentheils die Richtung der Luft- und Meerströmungen, durch welche entweder die höhere Temperatur der Tropen nach den Polen hin, oder umgekehrt die Kälte der Polarmeere dem Aequator genähert wird; die Wirkung, welche die Sonnenstrahlen an irgend einem Orte der Erde hervorzubringen im Stande sind, hängt von der Configuration des Landes, von der Beschaffenheit des Bodens ab, sie wird durch die Richtung der herrschenden Winde, durch Gebirgszüge modificirt; die klimatischen Verhältnisse einer Gegend sind also das Resultat mannigfacher Ursachen, welche sich theils combiniren, theils gegenseitig modificiren, und welche bald mehr allgemeiner, bald mehr localer 130

Natur sind, welche bald direct, bald indirect wirken. »Die physische Geographie,« sagt Humboldt, »hat ihre numerischen Elemente wie das Weltsystem, und wir werden in der Kenntniß dieser Elemente in dem Maße fortschreiten, als wir die Thatsachen besser benutzen lernen, um in ihnen die allgemeinen Gesetze mitten in dem Zusammenwirken der partiellen Störungen zu erkennen.«

Ganz abgesehen davon, daß die ungleiche Vertheilung von Land und Wasser auf unserer Erdoberfläche die Richtung der Luft- und Meerströmungen modificirt, bewirkt sie auch direct eine ungleiche Wärmevertheilung, weil das feste Land, die Wärmestrahlen leichter absorbirend und ausstrahlend, sich schneller erwärmt und leichter wieder erkaltet als das Meer, welches, überall von gleichförmiger Natur, wegen seiner Durchsichtigkeit und wegen der bedeutenden specifischen Wärme des Wassers nicht so schnell erwärmt wird, die einmal erlangte Wärme aber auch nicht so schnell abgiebt. Die Temperatur der Meeresoberfläche ist deshalb weit gleichförmiger, sowohl die täglichen als auch die jährlichen Temperaturschwankungen sind hier ungleich geringer als in der Mitte der großen Continente, und dadurch ist gerade der schon oben erwähnte Unterschied zwischen Land- und Seeklima bedingt, welcher dadurch größer wird, daß an den Küsten der nördlich gelegenen Ländern der Himmel meistens bedeckt ist, was sowohl den wärmenden Einfluß der Sonnenstrahlen im Sommer mäßigt, als auch die starke Erkaltung des Bodens durch Wärmestrahlung im Winter hindert.

Inseln, welche mitten in einem großen Meere liegen, Küsten und namentlich Halbinseln werden das weniger veränderliche Seeklima theilen, während die Unterschiede zwischen Sommer- und Wintertemperatur um so größer sind, je weiter man sich von den Küsten entfernt. Schon in vorigem Paragraph wurden Beispiele angeführt, welche zeigen, wie bei gleicher mittlerer Jahreswärme die Vertheilung der Wärme auf die verschiedenen Jahreszeiten oft sehr ungleich ist; wie an Orten, welche ein Küstenklima haben, die Temperaturschwankungen weit geringer sind als für solche Orte, welche mitten im Lande liegen.

So ist bereits angeführt worden, daß Edinburgh bei gleicher mittlerer Jahreswärme doch milderen Winter und kühleren Sommer hat als Tübingen. Die Differenz der mittleren Temperatur des heißesten und kältesten Monats beträgt für Edinburgh nur 9,5°, für Tübingen aber 15,7°.

Die Tabellen auf Seite 287 und Seite 296 liefern Material genug, um den Unterschied zwischen Land- und Seeklima nachzuweisen; die folgende kleine Tabelle enthält die Zusammenstellung einiger besonders charakteristischer, obiger Tabelle entnommener Beispiele:

	Mittlere Temperatur des			Differenz.
	Jahres.	Januar.	Juli.	
Sitcha	5,97	1,02	11,16	10,04
Reykiavig	3,30	— 0,97	10,75	11,72
Bergen	6,57	1,34	12,62	11,28
Dublin	7,57	2,88	12,76	9,88
Moskau	3,57	— 8,19	15,29	23,48
Astrachan	8,02	— 8,60	19,98	28,89
Irkutzk	0,27	— 15,69	14,60	30,29
Jakutzk	— 8,25	— 34,43	16,35	50,78

Das Seeklima, welchem die vier erstgenannten Orte angehören, ist besonders durch kühle Sommer und gelinde Winter charakterisirt, so daß die Differenz zwischen der mittleren Temperatur des heißesten und des kältesten Monats nicht sehr groß ist. Am entschiedensten tritt dieser Charakter des Seeklimas an den nordwestlichen Küsten von Amerika auf, wie man aus den Karten Tab. XXI und XXII am leichtesten übersehen kann. Der Juli ist hier zu kühl, der Januar viel zu warm.

Das Continentalklima, welchem die vier zuletzt genannten Orte angehören, ist dagegen durch heiße Sommer und kalte Winter ausgezeichnet, daher der Unterschied zwischen der Temperatur des Januar und des Juli hier sehr groß ist, wie dies namentlich die Temperaturverhältnisse von Sibirien zeigen. Auch dies zeigen die Karten Tab. XXI und XXII auf den ersten Blick, indem Sibirien auf der Januarkarte blau, auf der Julikarte weiß, also in beiden Fällen gerade entgegengesetzt angelegt ist, wie die Nordwestküste von Nordamerika.

Aus den Karten Tab. XXI und XXII ersehen wir weiter, daß Europa fast normalen Sommer hat; die mittlere Temperatur des Juli ist nur wenig zu hoch, und dieser Ueberschuß wächst von Westen nach Osten hin, dagegen fallen die Westküsten Europas im Winter entschieden dem Seeklima anheim, indem hier die mittlere Januartemperatur weit höher ist als die Normaltemperatur dieses Monats für die entsprechenden Breitegrade.

Europa ist also unter allen Ländern gleicher geographischer Breite hinsichtlich seiner Wärmeverhältnisse in jeder Beziehung am meisten begünstigt, da es warme Sommer und gelinde Winter hat. Den Gegensatz zu diesem Verhältniß bildet Nordamerika, welches, den schmalen, bereits erwähnten Küstenstrich abgerechnet, im Sommer dem Küstenklima und im Winter dem Continentalklima anheimfällt, also bei sehr kalten Wintern verhältnißmäßig kühle Sommer hat.

Welchen Einfluß solche klimatischen Verschiedenheiten auf die Vegetation

ausüben müssen, ist klar. An mehreren Orten Sibiriens, in Jakutzk z. B., wo die mittlere Jahrestemperatur — 8,25° ist, die mittlere Januartemperatur aber — 34,43° beträgt, wird während des kurzen, aber heißen Sommers Weizen und Roggen auf einem Boden gebaut, welcher in einer Tiefe von 3 Fuß beständig gefroren bleibt; dagegen ist auf der Insel Island bei ungleich höherer Jahrestemperatur und bei einer unbedeutenden Winterkälte an den Bau von Cerealien nicht mehr zu denken, weil die niedrige Sommertemperatur nicht hinreicht, sie zur Reife zu bringen.

Im nordöstlichen Irland, wo im Winter kaum Eis friert, in gleicher Breite mit Königsberg, gedeiht die Myrthe so kräftig wie in Portugal, auf den Küsten von Devonshire überwintert die Camellia japonica und die Fuchsia coccinea im Freien; der Winter ist in Plymouth nicht kälter als in Florenz und Montpellier; der Weinbau gedeiht aber nicht in England, weil die Rebe wohl eine ziemlich starke Winterkälte vertragen kann, aber eines heißen Sommers bedarf, wenn die Traube reifen und einen trinkbaren Wein liefern sollen. In Astrachan, welches mit dem Nordcap gleiche Winterkälte hat, reifen die herrlichsten Trauben. Ungarn bringt ausgezeichneten Wein hervor, obgleich seine Winter kälter sind als im nördlichsten Schottland, wo kein Obstbaum mehr gedeiht, ja selbst kälter als auf den Faröerinseln, wo auch die Buche und die Eiche nicht mehr fortkommt.

Ueberall, wo die mittlere Jahreswärme unter 17° ist, findet das Erwachen der Natur im Frühlinge in demjenigen Monate Statt, dessen mittlere Temperatur 6 bis 8° beträgt. Der Pfirsischbaum blüht, wenn die mittlere Temperatur eines Monats 5,5°, der Pflaumenbaum, wenn sie 8,2° erreicht. Die Birke schlägt bei einer mittleren Monatstemperatur von 11° aus; in Rom findet dies im März, in Paris Anfangs Mai, in Upsala in der Mitte Juni Statt, auf dem Nordcap kommt die Birke nicht mehr fort, weil die mittlere Temperatur des heißesten Monats nur 8,1° beträgt.

131 **Ursachen der Krümmung der Isothermen.** Bereits im Eingange des vorigen Paragraphen ist erwähnt worden, daß die Luft- und Meeresströmungen einen wesentlichen Einfluß auf die klimatischen Verhältnisse der Länder ausüben, und sie sind es auch vorzugsweise, welche die Krümmung der Isothermen bedingen.

In der nördlichen gemäßigten Zone sind die Südwest- und die Nordostwinde die vorherrschenden. Der Südwestwind kommt aus den Aequatorialgegenden und führt die Wärme der Tropen zum Theil nach den kälteren Ländern; dieser erwärmende Einfluß der Südwestwinde wird aber in solchen Ländern vorzugsweise merklich werden, welche der südwestlichen Luftströmung am meisten ausgesetzt sind, und somit erklärt sich, daß die Westküsten der großen Continente wärmer sind als die Ostküsten, daß die Isothermen in Europa, welches eigentlich nur eine halbinselförmige Verlängerung des asiatischen Continents ist, und an den Westküsten von Nordamerika weiter nach Norden steigen als im Inneren von Asien und an den Ostküsten von Nordamerika.

Ferner trägt eine unter dem Namen des Golfstroms bekannte Meeres-

strömung sehr zur Milderung des europäischen Klimas bei. Der Ursprung dieses Stromes ist im mexicanischen Meerbusen zu suchen, wo das Meerwasser bis zu einer Temperatur von 24 bis 25° erwärmt wird. Zwischen Cuba und Florida aus dem mexicanischen Meerbusen heraustretend, folgt der Strom anfangs den amerikanischen Küsten, um sich dann mit stets zunehmender Breite und abnehmender Temperatur östlich nach Europa hin zu wenden. Wenn auch der Golfstrom selbst nicht bis an die Küsten von Europa reicht, so verbreitet sich doch sein warmes Wasser, namentlich unter dem Einflusse der vorherrschenden Südwestwinde, in den europäischen Gewässern, was schon daraus hervorgeht, daß man an den westlichen Küsten von Irland und an den Küsten von Norwegen Früchte von Bäumen findet, die in der heißen Zone Amerikas wachsen; die West- und Südwestwinde bleiben also lange mit einem Meerwasser in Berührung, dessen Temperatur zwischen dem 45. und 50. Breitengrade selbst im Januar nicht unter 7° sinkt. Unter dem Einfluß dieses Golfstroms ist das nördliche Europa durch ein eisfreies Meer von dem Gürtel des Polareises getrennt; selbst in der kältesten Jahreszeit erreicht die Gränze des Polareises nicht die europäischen Küsten, so daß man mitten im Winter vom Nordcap bis zur Südspitze von Spitzbergen fahren kann. Sabine fand zwischen dem 65. und 70. Breitengrade die mittlere Temperatur des atlantischen Oceans an der Oberfläche 4,5°, während bei gleicher Breite die mittlere Temperatur des europäischen Continents schon unter dem Gefrierpunkte ist.

Während so alle Umstände zusammenwirken, um die Temperatur in Europa zu erhöhen, wirken im nördlichen Asien mehrere Ursachen zusammen, um die Isothermen bedeutend herabzusenken. Im Süden von Asien liegen zwischen den Wendekreisen keine bedeutenden Ländermassen, nur einige asiatische Halbinseln ragen in die heiße Zone hinein; das Meer aber erwärmt sich nicht so stark wie die afrikanischen Wüsten, theils weil das Wasser die Wärmestrahlen ungleich weniger absorbirt, theils aber auch, weil bei der fortwährenden Verdampfung von Wasser auf der Oberfläche des Meeres sehr viel Wärme gebunden wird. Die warmen Luftströme, welche, aus dem Becken des indischen Oceans aufsteigend, die Wärme der Tropen dem inneren und nördlichen Asien zuführen könnten, werden aber noch durch die ungeheuren Gebirgsketten im Süden von Asien aufgehalten, während das nach Norden hin allmälig sich verflachende Land den Nord- und den Nordostwinden preisgegeben ist. Während sich Europa nicht weit nach Norden erstreckt, ragt Asien weit in das nördliche Eismeer hinein, welches, hier allen wärmenden Einflüssen entzogen, durch welche die Temperatur der europäischen Meere erhöht wird, fast immer mit Eis bedeckt ist. Ueberall reichen die Nordküsten von Asien bis an die Wintergränze des Polareises, und die Sommergränze dieses Eises entfernt sich nur auf kurze Zeit an einigen Stellen von den Küsten; daß aber dieser Umstand die Temperatur bedeutend erniedrigen muß, ist klar, wenn man bedenkt, wie viel Wärme bei der Schmelzung solcher Eismassen gebunden wird.

Die bedeutende Senkung der Isothermen im Inneren und an den Ostküsten von Nordamerika rührt zum Theil daher, daß die Südwestwinde hier nicht

mehr Seewinde, sondern Landwinde sind, und deshalb hier nicht mehr den mildernden Einfluß ausüben können wie auf den Westküsten. Während die europäischen Küsten von wärmerem Wasser bespült sind, ziehen sich an den Ostküsten von Nordamerika kalte Meerströmungen von Norden nach Süden. Eine solche Strömung, von Spitzbergen herkommend, geht zwischen Island und Grönland hindurch und vereinigt sich dann mit den aus der Hudsons- und Baffinsbay kommenden Strömungen, um an der Küste von Labrador herab, bei Neufoundland vorbei zu treiben und sich unter dem 44. Breitengrade in den Golfstrom zu ergießen. Diese arktische Strömung trägt die Kälte der Polarregionen theils durch die niedrige Temperatur des Wassers selbst, theils durch schwimmende Eisberge in die südlicheren Gegenden, und so ist diese Strömung ein Hauptgrund der bedeutenden Senkung der Isothermen an den Ostküsten von Amerika.

Auf der südlichen Hemisphäre sind die Isothermen weit weniger gekrümmt als auf der nördlichen, was wohl vorzugsweise darin seinen Grund hat, daß der größte Theil derselben mit Wasser bedeckt ist.

An den Westküsten von Südamerika macht sich eine bedeutende Annäherung der Isothermen gegen den Aequator hin bemerklich, wie man dies sowohl bei den Jahresisothermen als auch bei den Isothermen des Januar und des Juli sehen kann. Es rührt dies daher, daß gerade an diesen Küsten eine vom Südpol gegen den Aequator gerichtete Meeresströmung die kälteren Gewässer des südlichen Eismeeres den niederen Breiten zuführt.

Eine ähnliche Strömung im südlichen Theile des atlantischen Oceans bewirkt, daß auch zwischen Brasilien und Afrika die Isothermen ihre convexen Gipfel dem Aequator zukehren.

Im Allgemeinen ist die südliche Hemisphäre kühler als die nördliche, wie sich schon daraus ergiebt, daß der größte Theil des Gürtels, innerhalb dessen die mittlere Jahrestemperatur über 20° R. ist, zum größten Theil auf die nördliche Hemisphäre fällt (Tab. XVI). Auch die Tabelle auf Seite 287 bestätigt die eben ausgesprochene Behauptung.

Die geringere Wärme der südlichen Halbkugel mag ihren Grund wohl vorzugsweise darin haben, daß das Meer einen großen Theil der seine Oberfläche treffenden Wärmestrahlen reflectirt, daß also überhaupt die Quantität der auf der südlichen Erdhälfte absorbirten Wärmestrahlen nicht so groß ist wie auf der nördlichen, weit mehr Land enthaltenden Hemisphäre.

132 **Abweichungen vom normalen Gange der Wärme.** Die periodischen Schwankungen der Lufttemperatur treten nie rein auf, sie erscheinen stets mehr oder weniger durch unregelmäßige Veränderungen alterirt. Wir brauchen nur die thermometrischen Beobachtungsreihen irgend eines Ortes mit Aufmerksamkeit zu verfolgen, um zu finden, wie verschieden der Gang der Wärme von einem Jahr zum anderen ist, wie bedeutend die aus den Beobachtungen gezogene mittlere Temperatur eines Monats in einzelnen Jahren von dem entsprechenden Mittel anderer Jahre sowohl wie von dem allgemeinen Monatsmittel abweicht.

Dove hat die nicht periodischen Aenderungen der Temperaturvertheilung auf der Oberfläche der Erde einer genaueren Untersuchung unterworfen und die Resultate seiner Forschungen in einer Reihe von Aufsätzen niedergelegt, welche in den Jahrgängen von 1838 bis 1846 der Abhandlungen der Berliner Akademie veröffentlicht wurden. Man findet daselbst nicht allein die Resultate seiner mühevollen Studien, sondern auch eine Zusammenstellung des gesammten Beobachtungsmaterials, welches er zusammenbringen konnte, und welches die Basis seiner Untersuchungen bildet.

Ist einmal das allgemeine Mittel der Temperatur für irgend einen Monat an einem bestimmten Orte aus einer möglichst großen Reihe von Beobachtungsjahren bekannt, so kann man leicht ermitteln, um wie viel die mittlere Temperatur desselben Monats für ein bestimmtes Jahr über oder unter dem entsprechenden allgemeinen Monatsmittel war. Wenn wir z. B. wissen, daß das allgemeine Monatsmittel für den December in Berlin 0,35° R. ist, daß aber die mittlere Temperatur dieses Monats im Jahre 1829 daselbst nur — 6,93° R. betrug, so ist klar, daß der December 1829 zu Berlin um 7,28° R. zu kalt war.

Solche Vergleichungen hat nun Dove in großer Anzahl zusammengestellt. Die Tabelle auf der folgenden Seite giebt einen Auszug einer solchen Zusammenstellung für die Jahre 1829 und 1834. Die Zahlen ohne Vorzeichen geben an, wieviel die mittlere Monatstemperatur in den genannten Jahren über, die negativen, wieviel sie unter dem allgemeinen Monatsmittel des Ortes war.

Wir sehen aus dieser Tabelle, daß der December 1829 in Europa sehr kalt war. In Paris war die mittlere Temperatur dieses Monats um 5,67, in Berlin war sie sogar 7,28° R. unter dem allgemeinen Mittel des Monats December. Diese Abweichung finden wir nun aber keineswegs in gleicher Weise an den übrigen in der Tabelle zusammengestellten Orten. In Petersburg und Kasan war der December 1829 freilich auch noch zu kalt, aber nicht so viel wie in Paris und Berlin, in Irkutzk dagegen finden wir schon einen merklichen Ueberschuß der mittleren Monatstemperatur; ebenso auf der Insel Island, während dieser Ueberschuß in Nordamerika noch bedeutender ist und zu Marietta 3,74° R. erreicht.

Aehnliche Verhältnisse, wenn auch nicht ganz so ausgezeichnet, finden wir im Januar 1829.

Zu Paris herrschte während des ganzen Jahres 1829 eine zu niedrige Temperatur; zu Berlin finden wir nur in den Monaten Juni und September einen ganz unbedeutenden Ueberschuß an Wärme, während an allen anderen auf der Tabelle verzeichneten Orten dieser Ueberschuß in mehreren Monaten bald mehr oder weniger bedeutend ausfällt. Namentlich zeigt Reykiavig in den Sommermonaten eine zu hohe Temperatur.

Für den Februar 1829 erstreckt sich die zu niedrige Temperatur über alle in unserer Tabelle verzeichneten Orte; der Unterschied vom allgemeinen Mittel der mittleren Februartemperatur ist aber keineswegs überall gleich. In Marietta und in Petersburg war die Kälte am bedeutendsten, während in Rey-

	Nordamerika.		Island.	Europa.			Nordasien.	
	Marietta.	Concord.	Reykiavig.	Paris.	Berlin.	Petersburg.	Kasan.	Irkutzk.
1 8 2 9.								
Januar . . .	0,48	— 0,71	— 0,02	— 3,03	— 2,16	— 0,94	— 1,38	0,79
Februar. . .	— 4,28	— 2,62	— 0,14	— 0,98	— 2,84	— 4,07	— 0,71	— 0,50
März	— 2,69	— 1,63	— 0,37	— 1,02	— 1,55	— 2,45	— 0,68	— 0,10
April	— 1,70	— 0,24	0,19	— 0,50	— 0,12	— 1,75	— 1,46	— 0,94
Mai	1,34	1,00	— 0,11	— 0,22	— 1,71	0,70	0,58	— 0,92
Juni	0,87	0,18	0,56	— 0,15	0,38	— 0,23	0,05	— 0,91
Juli	— 0,57	— 0,44	1,91	— 0,53	0,00	1,93	1,37	0,19
August . . .	0,12	— 0,14	2,56	— 0,98	— 0,28	— 0,55	0,22	0,03
September. .	— 0,47	— 2,87	— 0,06	— 1,10	0,27	1,55	1,26	— 0,03
October . . .	0,77	— 0,38	— 1,56	— 1,30	— 1,25	— 1,21	0,46	1,05
November . .	— 1,77	0,04	— 0,20	— 1,47	— 2,34	— 1,46	— 0,26	1,65
December . .	3,74	3,02	1,24	— 5,67	— 7,28	— 0,84	— 2,89	1,74
1 8 3 4.								
Januar . . .	— 2,20	— 1,47	— 1,47	4,46	5,33	— 2,40	— 2,59	— 0,48
Februar . . .	3,30	1,55	0,05	— 0,43	1,20	0,25	— 4,65	1,94
März	0,03	0,59	0,16	0,41	0,81	1,81	3,57	1,49
April	0,47	0,87	— 0,23	— 1,13	— 1,11	— 0,14	1,74	1,45
Mai	— 1,52	— 1,63	— 1,15	1,06	1,54	0,19	— 0,05	1,42
Juni	0,23	— 0,71	— 1,79	0,50	0,99	— 1,67	0,21	0,74
Juli	1,23	2,00	— 1,11	0,82	3,26	— 0,34	— 2,00	— 0,06
August . . .	0,43	— 0,63	— 2,06	1,01	2,64	2,01	1,30	— 0,15
September. .	— 0,28	0,91	— 1,30	1,67	1,17	— 0,10	— 0,07	0,89
October . . .	— 1,40	— 0,38	— 1,53	0,00	0,09	— 0,08	1,88	1,38
November . .	— 0,10	— 1,38	— 0,01	0,12	0,76	— 0,35	1,54	2,65
December . .	0,44	— 1,42	2,14	0,01	1,33	1,29	2,37	0,68

kiawig und in Irkutzk die negative Abweichung nur unbedeutend ist. Von Marietta nach Osten gehend finden wir eine Abnahme der negativen Abweichung; für England weisen Dove's Tabellen sogar eine, freilich unbedeutende positive Abweichung nach. Noch weiter nach Osten zu wächst die negative Abweichung wieder, um in Petersburg wieder ein Maximum von 4,07° R. zu erreichen und dann wieder bis Irkutzk abzunehmen, wo sie nur noch ½ Grad beträgt.

Diese Verhältnisse berechtigen uns wohl zu der Annahme, daß östlich über Irkutzk hinaus im Februar 1829 eine positive Abweichung von der normalen Temperatur stattgefunden habe, daß im östlichen Asien, im westlichen Nordamerika und dem zwischenliegenden Ocean der Februar 1829 zu warm gewesen, und daß also hier der Gegensatz gegen die zu niedrige Temperatur zu suchen sei, welche zu jener Zeit im Osten von Amerika, in Europa und im westlichen Theile von Asien herrschte. Leider fehlt es an Beobachtungen aus jener fast 180 Längengrade umfassenden Gegend, welche unsere Vermuthung bestätigen könnten.

Einen Gegensatz gegen 1829 bildet das Jahr 1834. Das westliche Europa hatte sich fast das ganze Jahr 1834 hindurch eines Ueberschusses an Wärme zu erfreuen, während wir auf der Tabelle für Island schon fast durchgängig negative Vorzeichen sehen. Der Januar 1834 war im ganzen westlichen Europa bedeutend über dem allgemeinen Mittel, während alle auf der Tabelle verzeichneten Orte mit Ausnahme von Paris und Berlin zu viel Kälte hatten.

Gleichzeitige Witterungsverhältnisse verschiedener Gegenden. 133
Durch derartige Zusammenstellungen und Vergleichungen, wie wir sie im vorigen Paragraphen kennen lernten, hat Dove nachgewiesen:

1) daß größere Abweichungen vom normalen Gange der Temperatur nicht local auftreten, sondern daß sie sich gleichzeitig über größere Strecken der Erdoberfläche verbreitet zeigen, daß dagegen

2) eine zu große Kälte oder zu große Wärme auch nicht gleichzeitig über die ganze Erde verbreitet ist, sondern daß jedes in irgend einer Gegend auftretende Extrem sein Gegengewicht in einer entgegengesetzten Abweichung an anderen Gegenden findet.

Es ist demnach höchst wahrscheinlich, daß stets dasselbe Quantum Wärme auf der Erdoberfläche verbreitet ist, daß aber die Vertheilung desselben außer den periodischen Schwankungen auch nicht periodische Aenderungen erleidet.

Was nun die Verbreitung gleichartiger Witterungsverhältnisse betrifft, so finden sie sich häufiger in der Richtung von Süd nach Nord, als von West nach Ost, so also, daß die entgegengesetzten Extreme meist in der Richtung von West nach Ost neben einander liegen, wofür namentlich die Temperaturverhältnisse der Jahre 1829 und 1834 Beispiele liefern. So steht die Witterung in Europa häufig im Gegensatz zu der in Nordamerika und in Sibirien, während sie sich zu anderen Zeiten mehr dem einen oder dem anderen Nachbarn anschließt.

Vollständig werden diese Verhältnisse erst hervortreten, wenn sich das Beobachtungsmaterial auch über den westlichen Theil von Amerika und den östlichen von Asien erstrecken wird.

Ob wir einen kalten oder milden Winter haben, ob der Sommer heiß oder gemäßigt ist, das hängt davon ab, welche Windrichtung längere Zeit die herrschende ist. Wir werden weiter unten sehen, daß auf der nördlichen Hemisphäre, locale Störungen abgerechnet, Nordost und Südwest die herrschenden Winde sind, welche, neben einander herfließend, sich abwechselnd zu verdrängen suchen. Während die Luft als ein breiter Südweststrom über bestimmte Länder und Meere vom Aequator in höhere Breiten strömt, wird dagegen an anderen Stellen ein entgegengesetzter Strom die Luft wieder dem Aequator zuführen. Der Nordost bringt uns aber, wie gleichfalls später nachgewiesen werden soll, kalte Winter und heiße Sommer, der Südwest hingegen milde Winter und kühle Sommer.

Ob also der Winter irgend eines Jahres in einer bestimmten Gegend strenger oder milder ist als gewöhnlich, wird demnach davon abhängen, ob diese Gegend zu jener Zeit in den Südwest- oder ob sie in den Nordoststrom aufgenommen ist, und ebenso sind die Abweichungen im Sommer von der gerade herrschenden Windrichtung abhängig.

Da nun aber dieselbe Windrichtung nicht gleichzeitig über die ganze Hemisphäre herrschen kann, sondern Ströme entgegengesetzter Richtung neben einander herlaufen müssen, so ergiebt sich auch als eine nothwendige Folge dieses Verhältnisses, daß gleichnamige Abweichungen vom normalen Gange der Wärme ebenfalls nicht über die ganze Hemisphäre verbreitet sein können, sondern daß man auf demselben Breitengrade abwechselnd positive und negative Abweichungen finden muß. Herrscht z. B. im Januar in Europa der Südweststrom vor, so wird daselbst eine für diese Zeit ungewöhnlich milde Witterung herrschen, während dann in denjenigen Orten, auf welchen gleichzeitig der Nordost weht, der negative Gegensatz auftritt.

Manchmal, wenn auch nicht häufig, hält eine Abweichung nach gleichem Sinne längere Zeit an. So finden wir zu Paris das ganze Jahr 1829 zu kalt, und zu Berlin erheben sich nur die Monate Juni und September unbedeutend über das Mittel. Ein noch auffallenderes Beispiel der Art bietet die im westlichen Europa vom Juni 1815 bis zum December 1816 fortdauernde Kälte, welche die traurige Mißernte von 1816 zur Folge hatte. Gleichzeitig erfreute sich Osteuropa einer milden Temperatur.

Der bedeutenden Getreideausfuhr Odessas von 1815 bis 1817 verdankt dieser Ort sein Aufblühen als Handelsstadt.

Das Jahr 1834 zeigt dagegen für das westliche Europa vorherrschend positive Differenzen. Ebenso die Jahre 1811, 1822 u. s. w., welche als vorzügliche Weinjahre bekannt sind.

Es ist eine ganz irrige Annahme, daß stets auf einen kalten Winter ein heißer Sommer folge. Guten Weinjahren geht im Gegentheile meist ein milder Winter oder Frühling vorher. So war es wenigstens 1811, 1819, 1822 und 1834.

Uebersieht man die in diesem und dem vorigen Paragraphen mitgetheilten Thatsachen und Gesetze, so ergiebt sich aus ihnen der Schluß, daß anomale Witterungsverhältnisse nicht kosmischen, sondern nur tellurischen Ursprungs sind.

Veränderlichkeit monatlicher Mittel. Von den klimatischen Verhältnissen einer Gegend geben die allgemeinen Monatsmittel noch kein vollständiges Bild. Man erhält dies erst, wenn man den Grad der Veränderlichkeit der Witterungsverhältnisse kennt, wenn man weiß, wie weit sich die monatlichen Mittel einzelner Jahre von dem entsprechenden allgemeinen Mittel entfernen können. Auch auf diesen Punkt hat Dove seine Aufmerksamkeit gerichtet. Er bestimmte für eine große Anzahl von Orten die absolute Veränderlichkeit, unter welcher er den größten Spielraum versteht, innerhalb dessen die mittlere Temperatur der einzelnen Monate während einer möglichst großen Reihe von Beobachtungsjahren schwankte. So ist z. B. die niedrigste mittlere Januartemperatur, welche seit 1719 zu Berlin beobachtet wurde, die von 1823, welche — 9,36° R., die höchste aber die von 1796, welche + 4,92° R. betrug; die absolute Veränderlichkeit des Januar für Berlin ist demnach 14,28° R. Nach dieser Erläuterung ist die auf den folgenden Seiten stehende Tabelle größter Abweichungen monatlicher und jährlicher Mittel verständlich, welche ein Auszug der von Dove gegebenen ist. 134

Die zweite Verticalreihe giebt die Anzahl der Beobachtungsjahre, während welcher die folgenden Differenzen vorkamen.

Aus der näheren Ansicht dieser Tabelle geht unmittelbar hervor:

1) Daß die absolute Veränderlichkeit der Temperatur zwischen den Tropen am geringsten, daß sie aber in den Gegenden der Moussons (Ostindien) bedeutender ist als in der Region der Passate.

2) In der gemäßigten Zone, besonders an Orten eines noch nicht überwiegenden Seeklimas, wächst die absolute Veränderlichkeit mit der Annäherung an die kalte Zone, wie sich am deutlichsten durch die Vergleichung von Italien, den Alpen, Deutschland und Nordeuropa ergiebt.

3) Die Nähe bedeutender Gebirge scheint besonders die Veränderlichkeit während der Sommermonate zu steigern, wie sich namentlich aus der Vergleichung der entsprechenden Zahlen für die Alpen und für Deutschland ergiebt.

4) Im Seeklima ist die Veränderlichkeit gering. Entfernt man sich von den Küsten in das Innere der Continente, so nimmt die Veränderlichkeit anfangs zu, dann wieder ab. So ist die Veränderlichkeit in England kleiner als an den benachbarten Küsten des Continents, und hier wieder kleiner als im innern Deutschland. Im nördlichen Asien ist die Veränderlichkeit wieder weit geringer als in Deutschland.

5) Die größte Veränderlichkeit findet in den Wintermonaten Statt, während in der gemäßigten Zone, namentlich in den Gegenden vorherrschender Sommerregen der September der beständigste Monat ist.

Die Tropen.

		Januar	Februar.	März.	April.	Mai.
Calcutta	8	5,23	4,62	3,64	3,22	2,00
Madras	21	3,42	3,24	4,98	7,47	4,40
Rio Janeiro . .	7	2,66	1,55	1,83	1,27	2,33
Havanna	7	3,40	4,20	2,28	2,24	1,80
Italien.						
Palermo . . .	39	5,93	5,66	3,78	4,75	3,68
Rom	20	3,98	5,34	2,42	3,54	4,53
Nizza	20	4,50	4,04	5,70	5,25	3,60
Mailand	72	8,20	9,00	6,50	5,50	6,42
Mittel . .		5,47	5,38	5,32	4,67	4,88
Alpen.						
St. Bernhard . .	21	8,26	6,64	7,41	4,13	3,93
Genf	42	9,79	6,30	6,08	5,92	5,88
Insbruck	52	11,52	10,43	9,26	8,32	6,50
München	34	10,50	6,78	7,96	6,51	5,86
Mittel . .		8,89	7,09	6,66	6,45	5,26
Inneres Deutschland.						
Carlsruhe	40	9,38	8,35	8,76	6,66	5,15
Stuttgart . . .	43	14,09	9,08	6,28	8,27	5,66
Prag	15	10,54	9,17	6,33	4,27	5,49
Dresden	10	8,98	6,49	6,34	4,23	5,25
Mittel . .		9,44	7,83	5,97	4,74	5,45
Küsten des Continents.						
Paris	33	9,54	7,94	5,87	5,02	5,31
Harlem	17	5,92	5,94	4,05	3,29	4,08
Elberfeld	12	5,88	4,36	3,27	2,76	3,83
Hamburg . . .	18	9,30	8,05	6,16	5,40	5,68
Danzig	24	9,07	6,96	6,15	5,35	6,12
Mittel . .		8,66	6,80	5,74	4,98	5,16

Die Tropen.

Juni.	Juli.	August.	Septbr.	October.	Novbr.	December.	Jahr.
2,10	1,42	0,76	1,66	1,23	1,67	1,91	
2,71	3,29	2,53	2,44	1,73	2,76	2,27	1,98
1,24	1,24	2,66	2,40	1,17	1,88	1,29	.
0,90	2,40	2,02	2,04	1,94	1,98	1,41	1,41
Italien.							
4,35	3,82	3,24	4,71	3,54	3,93	5,07	1,76
5,30	3,50	3,88	4,56	3,34	4,11	4,44	2,01
7,60	3,90	4,45	3,75	4,35	4,25	4,45	3,55
5,51	4,60	5,28	6,89	5,20	5,20	6,80	2,78
5,17	3,68	4,45	4,26	4,25	4,77	5,29	2,21
Alpen.							
5,66	6,21	3,54	5,65	5,02	8,17	6,29	2,29
5,89	5,06	5,14	4,27	5,09	6,37	7,53	2,24
4,99	6,46	8,93	6,13	7,46	8,47	13,03	4,45
5,20	5,22	6,49	5,79	4,47	5,23	9,17	2,57
5,06	4,99	5,36	4,65	5,10	5,99	9,10	2,59
Inneres Deutschland.							
6,25	4,95	5,31	4,77	6,63	6,62	9,68	2,25
5,53	5,31	6,23	4,72	6,94	5,10	10,76	3,02
2,65	3,67	5,70	3,11	3,81	6,01	11,87	3,30
2,26	5,14	5,14	2,82	3,57	4,30	8,28	3,09
3,95	4,71	5,01	3,41	4,45	5,23	972	2,57
Küsten des Continents.							
4,67	4,00	4,70	3,86	4,88	5,40	9,70	2,34
4,18	3,84	3,97	2,64	4,20	4,41	8,72	2,65
5,55	3,78	4,75	3,97	3,54	4,84	0,53	2,12
4,28	5,05	5,28	3,15	6,00	4,56	8,32	2,46
5,98	4,19	6,14	4,26	3,81	5,55	9,14	3,58
5,00	4,54	5,30	3,79	4,56	5,48	9,11	2,69

England.

		Januar.	Februar.	März.	April.	Mai.
London	52	9,47	5,91	5,73	4,86	4,73
Manchester . . .	25	8,76	5,42	3,81	5,55	5,20
Dublin	17	6,68	5,01	5,71	4,62	3,08
Edinburgh . . .	11	4,15	3,45	4,13	3,48	1,90
Mittel . .		5,88	4,86	4,44	3,97	3,88
Nordeuropa und Nordasien.						
Stockholm	16	10,59	9,10	7,15	6,36	5,06
Upsala	40	13,13	11,26	11,22	7,64	6,76
Torneo	31	11,66	14,67	9,93	8,00	9,67
Petersburg . . .	14	7,37	9,32	8,19	6,38	5,32
Kasan	8	5,87	8,35	5,36	3,32	5,39
Irkutzk	10	4,47	4,66	4,76	2,12	2,87
Mittel . .		10,51	10,29	8,17	6,96	5,99
Nordamerika.						
Salem	43	6,63	7,60	4,84	4,69	6,17
Marietta	10	6,98	8,45	5,36	6,34	3,63
Montreal . . .	10	3,28	6,00	4,00	5,68	4,24
Mittel . .		5,98	6,53	4,76	4,96	4,84

England.

Juni.	Juli.	August.	Septbr.	October.	Novbr.	December.	Jahr.
4,27	4,76	4,58	4,25	4,84	4,80	7,39	3,02
5,07	5,34	3,15	4,18	4,31	5,33	5,19	2,27
3,19	3,15	3,95	3,73	4,26	4,99	4,74	3,04
4,13	2,41	3,69	2,94	2,00	3,83	3,51	1,42
3,98	3,51	3,63	3,63	4,20	4,40	5,04	2,18

Nordeuropa und Nordasien.

Juni.	Juli.	August.	Septbr.	October.	Novbr.	December.	Jahr.
4,72	5,57	5,62	4,10	5,48	5,65	10,06	3,30
5,73	5,51	4,78	4,78	7,44	8,56	11,03	3,10
9,28	7,22	7,70	9,20	8,20	8,48	12,58	0,96
4,44	5,41	4,83	3,62	3,60	5,46	9,22	3,17
4,16	3,37	4,78	2,38	4,50	7,06	10,47	
3,90	2,68	1,72	1,25	1,91	3,22	5,02	
5,76	5,54	5,82	5,35	6,76	7,43	9,66	2,64

Nordamerika.

Juni.	Juli.	August.	Septbr.	October.	Novbr.	December.	Jahr.
4,44	4,85	4,11	3,92	5,55	4,68	9,28	2,69
3,23	3,22	3,56	4,46	5,98	5,74	10,25	2,31
5,04	2,72	3,92	2,88	3,76	5,76	8,56	2,48
3,84	3,88	3,93	3,56	4,27	4,74	8,15	2,58

135 **Abnahme der Temperatur in höheren Luftregionen.** Die Erwärmung der Luft hat zwei Ursachen, nämlich eine theilweise Absorption der Sonnenstrahlen, welche dieselbe durchlaufen, und dann die Berührung mit dem durch die Sonnenstrahlen erwärmten Boden. Die letztere Wärmequelle ist weitaus die bedeutendste.

Die durch Berührung mit dem Boden erwärmte Luft wird eben durch die Erwärmung ausgedehnt, ihr specifisches Gewicht nimmt ab und deshalb steigt sie in die Höhe, die vom Boden erhaltene Wärme mit sich führend. Allein diese Wärme macht sich in den höheren Luftregionen keineswegs durch eine bedeutende Temperaturerhöhung geltend; denn beim Aufsteigen nimmt die Dichtigkeit der Luft fortwährend ab und die Abnahme der Dichtigkeit ist von einer fortwährenden Wärmebindung begleitet, weil ja die Wärmecapacität der Gase um so mehr wächst, je mehr ihre Dichtigkeit abnimmt. Daraus folgt nun, daß die höheren Luftschichten kälter sein müssen als die tieferen.

Daß eine solche Abnahme der Temperatur in den höheren Luftregionen wirklich stattfindet, davon überzeugt man sich, wenn man zu diesen höheren Regionen aufsteigt, mag man sich nun in einem Luftballon erheben oder den Gipfel hoher Berge besteigen.

Die Abnahme der Temperatur bei verticaler Erhebung kann nicht leicht ein regelmäßiges Gesetz befolgen, weil die beständigen Luftströmungen, Wolken-, Nebelschichten u. s. w. einen mehr oder weniger störenden Einfluß ausüben.

Gay-Lussac stieg im Jahre 1804 in einem Luftballon bis zur Höhe von 21000 Fuß; während das Thermometer am Boden 24,8⁰ R. zeigte, beobachtete er in jener Höhe die Temperatur von — 7,6⁰ R., also eine Temperaturdifferenz von mehr als 32 Graden. Barral und Bixio, welche am 27. Juli 1850 ungefähr zu gleicher Höhe aufstiegen, gelangten in einer Höhe von 6000 Fuß in eine Nebelschicht, deren obere Gränze erst erreicht wurde, nachdem sie sich bis zu einer Höhe von 20000 Fuß über dem Boden erhoben hatten. Nahe an der oberen Gränze dieser Nebelschicht zeigte das Thermometer noch — 8⁰ R., sank aber unmittelbar über derselben auf — 18,4⁰ R. In einer Höhe von 21000 Fuß zeigte das Thermometer nur noch — 32⁰ R.

Auf hohen Bergen zeigt schon die Veränderung der Vegetation die Abnahme der Temperatur an: je höher man steigt, desto mehr nimmt die Vegetation den Charakter kälterer Himmelsstriche an; am auffallendsten zeigt sich dieser Wechsel in den Tropen; besonders großartig erscheint er aber an den ungeheuren Gebirgen Südamerikas, wo man in einem Tage aus den Wäldern von Palmen und Bananen bis zu den Gränzen des ewigen Schnees aufsteigen kann.

Wie in der Andeskette und den mexicanischen Gebirgen die mittlere Temperatur mit der Höhe über der Meeresfläche abnimmt, übersieht man aus folgender von Humboldt gegebenen Tabelle.

Höhe über der Meeresfläche. in Pariser Fuß.	Mittlere Temperatur.	
	Cordilleras de los Andes.	Mexicanische Gebirge.
0	22° R.	20,8° R.
3000	17,6	15,8
6000	14,4	14,4
9000	11,3	11,0
12000	5,6	6,0
15000	1,2	0,8

Da sich in der heißen Zone die Temperatur der Luft im Laufe eines Jahres nur wenig ändert, so kann man sich von der Temperatur in verschiedenen Höhen der Andeskette die beste Vorstellung machen, wenn man sie mit der mittleren Temperatur gewisser Monate in höheren Breiten vergleicht. So findet man in den Ebenen des Orinoco täglich eine Temperatur, welche noch um 4° höher ist als die mittlere Temperatur des Monats August in Palermo; zu Popayen, 5400 Fuß über dem Meere, findet man die Temperatur der drei Sommermonate in Marseille; zu Quito die Temperatur von Paris während der letzten Hälfte des Mai, in den Paramos (11000′) die Temperatur von Paris während der ersten Hälfte des Aprils.

Man kann sich an den Abhang großer Gebirgsmassen isothermische Linien gelegt denken, welche mehr oder weniger als horizontale Curven erscheinen werden. So zieht sich um den Fuß der Andeskette eine Isotherme von 22°. Da wo eine 6000 Fuß hohe Ebene in die Masse der Andeskette einschneidet, befindet sich ungefähr die Isotherme von 14° R. u. s. w.

Die Isotherme von 0° wird an der Andeskette durch eine Reihe von einander getrennter in sich geschlossener Curven, welche um die isolirten Schneekuppen herumziehen, repräsentirt sein.

So folgen sich denn hier in verticaler Richtung in ganz kurzen Entfernungen von einander die Isothermen in gleicher Ordnung, wie man sie durchschneidet, wenn man von dem Aequator bis in die Polargegenden wandert.

Wie die Isothermen in den Alpen über einander liegen, zeigt die von Schlagintweit (Poggendorff's Annalen LXXXII) entlehnte Fig. 185 (a. f. S.).

Da Humboldt für die südamerikanischen Gebirge unter dem Aequator eine Temperaturabnahme von 20° R. für eine Erhebung von 15000 Fuß gefunden hat, so ergiebt sich dort im Durchschnitt eine Erhebung von 750 Fuß für eine Temperaturabnahme von 1° R.

Kennt man für eine Gegend die Höhendifferenz, welche einer Temperaturerniedrigung von 1° entspricht, so kann man aus der mittleren Temperatur

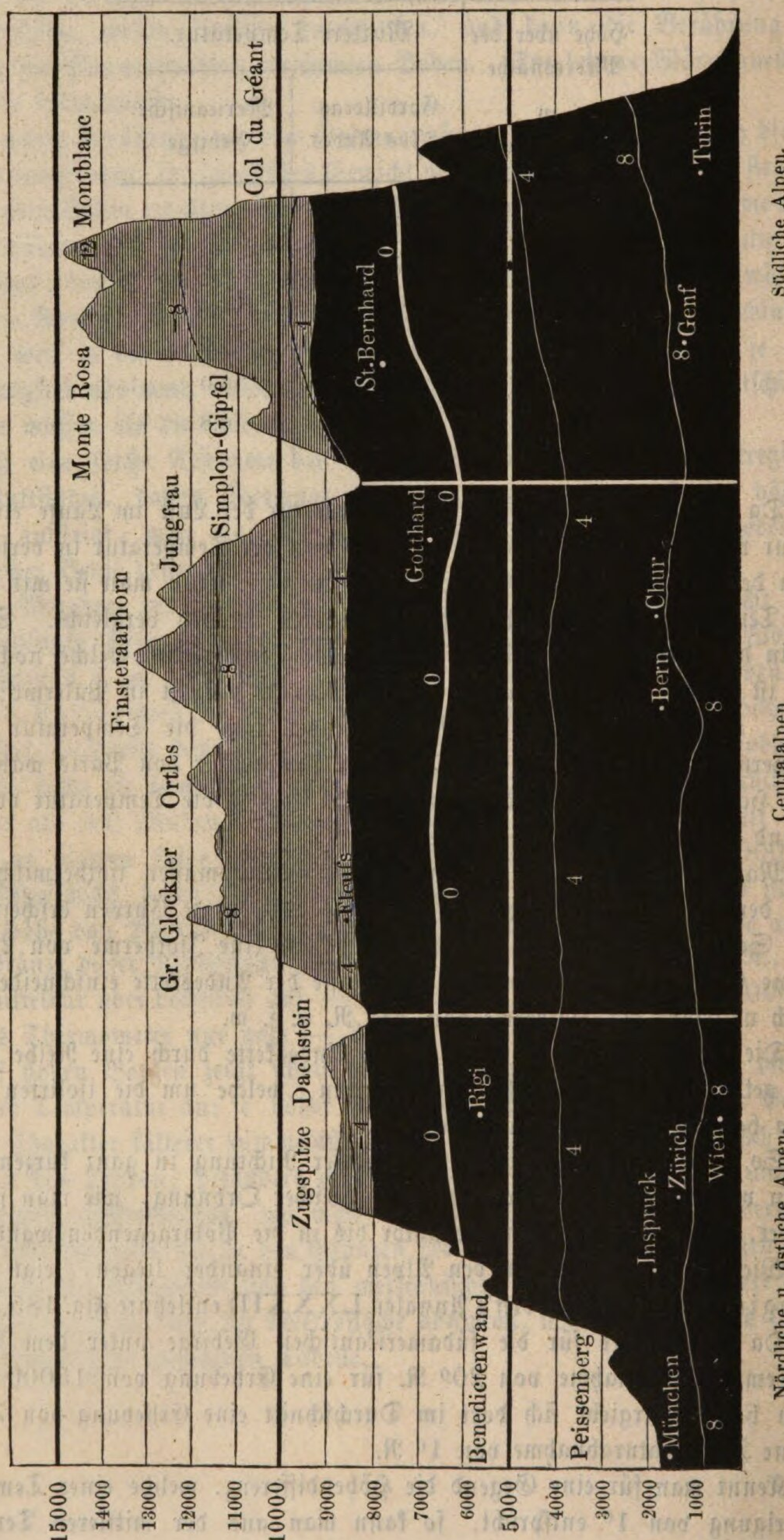

Montblanc
Monte Rosa
Finsteraarhorn
Jungfrau
Simplon-Gipfel
Col du Géant
Ortles
Gr. Glockner
Zugspitze
Dachstein
Benedictenwand
Peissenberg
München
Inspruck
Zürich
Wien
Rigi
Gotthard
St. Bernhard
Bern
Chur
Genf
Turin
Nördliche u. östliche Alpen.
Centralalpen
Südliche Alpen.
15000
14000
13000
12000
11000
10000
9000
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000

Fig. 187.

eines höhergelegenen Ortes annähernd genau die mittlere Temperatur berechnen, welche sich unter sonst gleichen Umständen im Niveau des Meeres finden würde; dividirt man nämlich mit dem Höhenunterschiede, welcher einer Temperaturdifferenz von 1^0 entspricht, in die Höhe des Beobachtungsortes, so findet man, um wie viel Grade die mittlere Temperatur im Niveau des Meeres höher sein würde. In den Alpen entspricht durchschnittlich eine Erhebung von 750 Fuß einer Temperaturerniedrigung von 1^0 Réaumur; nun aber ist das Hospiz auf dem St. Bernhard 7670 Fuß über dem Meeresspiegel, seine mittlere Temperatur ist also $\frac{7670}{750} = 10{,}2^0$ niedriger als am Meeresspiegel; da aber die mittlere Temperatur auf dem St. Bernhard — $0{,}8^0$ ist, so ergiebt sich für die mittlere Temperatur im Niveau des Meeres $9{,}4^0$ R.

Genf liegt 1218 Fuß über dem Meeresspiegel, seine mittlere Temperatur $8{,}2^0$ ist demnach $\frac{1218}{750} = 1{,}6^0$ niedriger als sie sein würde, wenn Genf im Niveau des Meeres läge; seine Temperatur würde also für diesen Fall $8{,}2 + 1{,}6 = 9{,}8^0$ R. betragen.

Die mittlere Temperatur der südöstlichen Schweiz, auf den Meeresspiegel reducirt, wäre demnach 9,4 bis $9{,}8^0$ R.

Die Isothermen auf der Karte Tab. XVI, sowie die Isotheren und Isochimenen auf der Karte Seite 294 sind so gezogen, wie diese Linien laufen würden, wenn alle Orte in der Höhe des Meeresspiegels lägen; die Temperatur der verschiedenen Orte ist also auf das Niveau des Meeres reducirt.

Temperaturschwankungen in höheren Luftregionen. Für Ge- 136
birge, welche nicht bedeutend ausgedehnte Hochebenen bilden, sondern vorzugsweise durch hohe Kämme und Gipfel gebildet werden, wie dies z. B. für die Alpen der Fall ist, sind die Temperaturschwankungen in der Höhe weit geringer als in der Tiefe, weil isolirte Berge und Bergreihen auf die Temperatur der höheren Luftregionen nur einen unbedeutenden Einfluß ausüben können, und weil die periodischen Temperaturschwankungen des Bodens in der Ebene, welche sich zunächst den unteren Luftschichten mittheilen, in der Höhe in ihrer Wirkung schon abgeschwächt sind, ehe sie merklich werden.

So fand z. B. Kämtz auf dem Rigi als Mittel aus einer Beobachtungsreihe von mehreren Wochen die Differenz des täglichen Maximums und Minimums $= 3{,}04^0$, während diese Differenz zu Zürich gleichzeitig $7{,}6^0$ R. betrug.

Auf dem St. Bernhard beträgt (Tabelle S. 296) die Differenz zwischen den mittleren Temperaturen des wärmsten und des kältesten Monats nur $12{,}38^0$, während für Genf dieser Unterschied auf $18{,}09^0$ steigt.

Da nun die Schwankungen der Temperatur benachbarter, aber ungleich hoch gelegener Orte einander nicht parallel gehen, so ist klar, daß die Temperaturdifferenz zwischen zwei solchen Orten nicht constant bleiben kann, daß sie mit der Jahreszeit sich ändert. So beträgt die Differenz der mittleren Januar-

temperatur für Genf und den St. Bernhard nur 6,52°, während der Unterschied der mittleren Julitemperatur 12,23° ist.

Daraus folgt dann auch, daß die Höhe, um welche man sich erheben muß, damit die Temperatur um 1° sinkt, nicht für alle Zeiten des Jahres dieselbe ist; sie ist größer im Winter, kleiner im Sommer.

Die Einwirkung des erwärmten Bodens kann sich nur nach und nach auf die höheren Luftschichten erstrecken. Es ist also immer eine mehr oder weniger bedeutende Zeit nöthig, bis sich die in der Tiefe stattfindenden Temperaturschwankungen in größere Höhen fortpflanzen; dadurch aber wird nothwendiger Weise die Zeit des täglichen und des jährlichen Maximums verschoben, und zwar muß es auf den Höhen später eintreten als im Thal. Den Beobachtungen von Kämtz zufolge findet in der That in den Sommermonaten auf dem Rigi (5000 Fuß hoch) das Maximum der Temperatur erst um 5 Uhr Nachmittags Statt.

Ebenso ist die Zeit des jährlichen Temperaturmaximums auf hohen Bergen verrückt. Während in Genf der Juli entschieden der heißeste Monat ist, ist auf dem St. Bernhard die mittlere Temperatur des Juli und des August fast gleich; es ist also offenbar die Zeit der größten Wärme gegen den August hin verschoben.

137 **Temperaturverhältnisse der Hochebenen.** Ein isolirter hoch in die Luft hineinragender Bergkegel oder ein Bergkamm wird die höheren Regionen der Atmosphäre nicht merklich erwärmen können, weil die Winde in jedem Augenblicke nur kalte Luftmassen an ihm vorbeiführen; eine Hochebene von bedeutendem Umfange aber, welche sich unter dem Einflusse der Sonnenstrahlen bedeutend erwärmen kann, indem sie von einer weniger dichten und weniger hohen Luftschicht bedeckt ist als die tieferen Gegenden, weil also die Sonnenstrahlen, welche eine Hochebene treffen, durch Absorption in der Luft weniger Wärme verloren haben als die, welche zur Tiefe gelangen, kann allerdings einen merklichen Einfluß auf die Erwärmung der höheren Luftregionen ausüben, welche über ihr schweben und welche eben wegen der größeren Ausdehnung des Plateaus längere Zeit mit dem erwärmten Boden in Berührung bleiben.

Unter sonst gleichen Umständen muß es demnach auf Hochebenen wärmer sein als auf isolirten Berggipfeln von gleicher Höhe. In den mexicanischen Gebirgen zwischen dem 18. und 19. Grade nördlicher Breite hört schon in einer Höhe von 13600 Fuß alle phanerogamische Vegetation auf, die Schneegränze findet sich in einer Höhe von 14500 Fuß, während bei gleicher südlicher Breite in Peru in größerer Höhe eine zahlreiche ackerbauende Bevölkerung wohnt; Potosi liegt 13540 Fuß über dem Meeresspiegel, die Schneegränze liegt hier in einer Höhe von 18350 Fuß. Dies erklärt sich nur durch die bedeutende Ausdehnung und Höhe der Hochebenen Perus. Das Plateau, in dessen Mitte der Titicaca-See liegt, erhebt sich zwischen zwei Gebirgsketten bis zu einer Höhe von mehr als 12350 Fuß; bei einer Breite von 60 geographischen Meilen erstreckt es sich vom 16. bis zum 20. Grade südlicher Breite,

so daß es eine Oberfläche von 3600 Quadratmeilen hat. Die Plateaus der Andes in der Nähe des Aequators haben höchstens eine Oberfläche von 10 Quadratmeilen, und die Höhe der mexicanischen Hochebene beträgt nur 6000 bis 8000 Fuß..

Ein anderes Beispiel bietet die Hochebene von Tibet und der chinesischen Tartarei. In einer Höhe von 11700 Fuß wird hier in einer Breite von 32° noch Weizen mit Erfolg gebaut, die Cultur der Gerste steigt noch weit höher hinauf, während auf dem südlichen Abhange des Himalaya, in den Thälern des Ganges schon in einer Höhe von 9500 Fuß alle Cultur aufhört; ja selbst unter dem Aequator auf den Plateaus von Quito und Caxamarca ist die Gränze der Cultur des Weizens 2300 Fuß tiefer als in den Hochebenen von Tibet.

Der Einfluß der Hochebenen auf die Temperatur der oberen Luftregionen ist in ihrer Mitte am bedeutendsten. Zu Santa Fe de Bogota, in der Mitte eines Plateaus, ist die mittlere Jahrestemperatur 14,5°, während sie in gleicher Höhe zu Facatativa am Rande des Plateaus nur 13,1° ist.

Während sich die Hochebenen unter der Einwirkung der Sonnenstrahlen stark erwärmen, ist natürlich auch aus demselben Grunde der Wärmeverlust, den sie durch die nächtliche Strahlung erleiden, viel bedeutender als in der Tiefe. Auf der Hochebene von Caxamarca in Peru, wo in einer Höhe von 4300 Fuß die mittlere Temperatur 16° ist, erfriert doch der Weizen häufig des Nachts. Humboldt sah hier bei Tage im Schatten das Thermometer auf 25° steigen, während es vor Sonnenaufgang nur 8° gezeigt hatte.

Auf den Hochebenen sind also die täglichen Schwankungen der Temperatur, und, wenn sie weiter vom Aequator entfernt liegen, auch die jährlichen, viel größer als unter sonst gleichen Umständen in der Tiefe; so hat z. B. die Hochebene von Tibet sehr heiße Sommer, obgleich die mittlere Jahrestemperatur ziemlich niedrig ist (die mittlere Temperatur des Monats October fand Turner 5,7°, und dies ist so ziemlich genau auch die mittlere Jahrestemperatur), weil dagegen der Winter um so kälter ist. Auf der Nordseite des Himalaya liegen die Culturgränzen und die Schneegränze nicht etwa deshalb höher als auf dem südlichen Abhange, weil die mittlere Jahreswärme höher, sondern weil bei der ungleichmäßigeren Wärmevertheilung der Sommer auf der nördlichen Abdachung heißer ist.

Die Schneegränze. Die Temperaturabnahme in den höher über dem 138
Meeresspiegel gelegenen Luftschichten wird dadurch besonders auffallend nachgewiesen, daß auf hohen Gebirgen der Schnee selbst in den Sommermonaten nicht wegschmilzt, daß diese Gipfel Jahr aus Jahr ein mit Schnee bedeckt bleiben. Im Vorübergehen ist der Gränze des ewigen Schnees in den Andes von Südamerika bereits Erwähnung geschehen, wir wollen jedoch diesen Gegenstand noch einer ausführlicheren Betrachtung unterwerfen.

Unter der Gränze des ewigen Schnees versteht man diejenige Höhe, über welche hinaus, selbst in der heißesten Jahreszeit, der Schnee auf den freien

Abhängen und steilen Wänden der Gebirge liegen bleibt. Solche mit ewigem Schnee bedeckte Localitäten werden Schneefelder genannt.

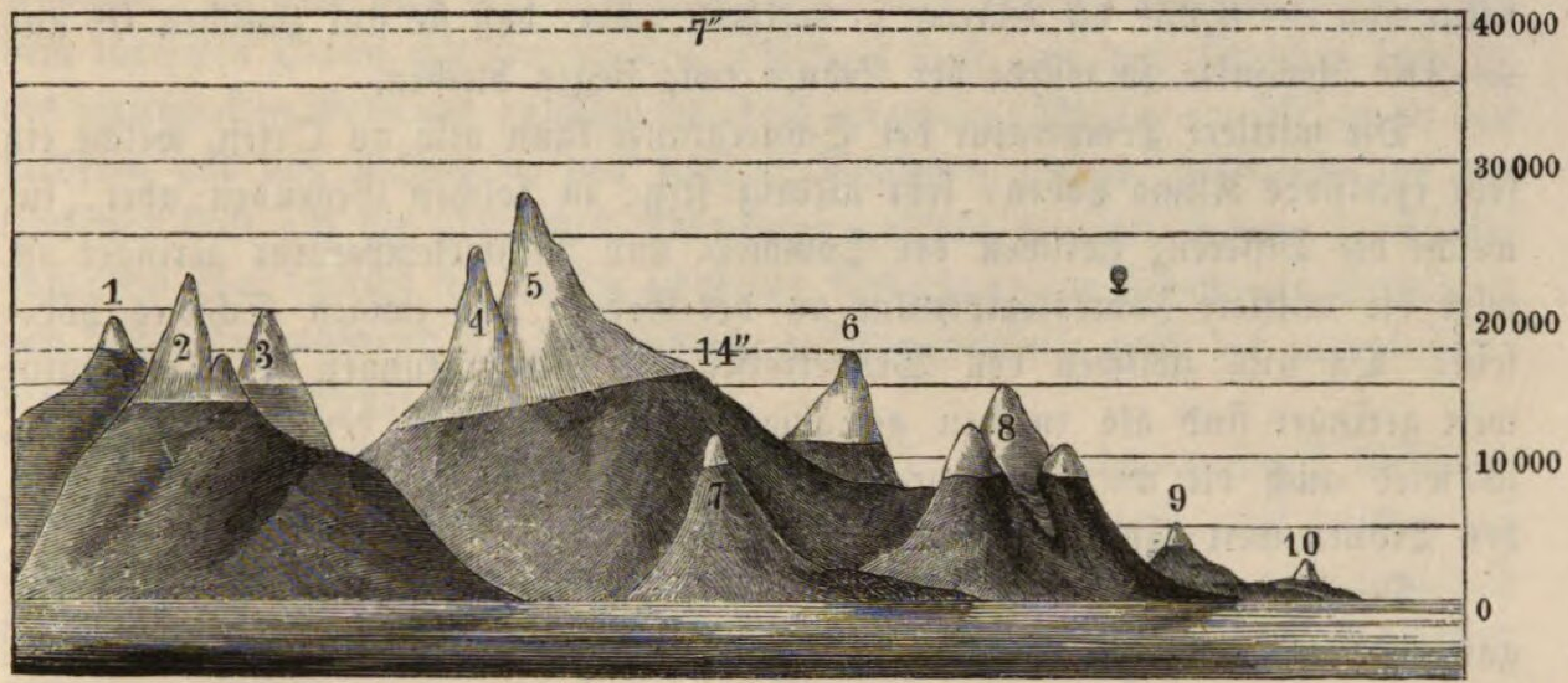
Im Allgemeinen wird natürlich die Schneegränze um so tiefer gegen den Meeresspiegel herunter rücken, je mehr man sich vom Aequator aus den Polen nähert; doch ist ihre Höhe keineswegs allein durch die geograpische Breite eines Ortes bestimmt, sondern sie wird durch mancherlei locale Verhältnisse auf das Mannigfaltigste modificirt.

Die folgende Tabelle enthält eine Zusammenstellung der Höhe der Schneegränze in verschiedenen Gegenden der Erde.

Gebirge.	Breite.	Untere Gränze des ewigen Schnees.	Mittlere Temperatur im Niveau des Meeres in gleicher Breite: des ganzen Jahres.	des Sommers.
Norwegen, Küste	71¼° N.	2220 par. F.	0,2° R.	5,1° R.
Norwegen, im Inneren	70 — 70¼°	3300 »	— 2,4	8,9
Island	65°	2890 »	3,3	9,6
Norwegen, im Inneren	60 — 62°	4800 »	3,3	13,0
Aldankette (Sibirien)	60° 55′	4190 »	. . .	. . .
Nördl. Ural	59° 40′	4490 »	0,9	13,4
Kamtschatka	56° 40′	4930 »	1,6	10,1
Altai	49¼ — 51°	6590 »	5,8	13,4
Alpen	45¾ — 46°	8350 »	8,9	14,7
Kaukasus (Elbruz)	43° 21′	10380 »	11,0	17,3
Pyrenäen	42½ — 43°	8400 »	12,5	19,0
Aetna	37½°	8900 »	15,0	20,1
Nördl. Abhang des Himalaya	30¾ — 31°	15600 »	. . .	. . .
Südl. Abhang des Himalaya	. . .	12200 »	16,2	20,6
Merico	19 — 19¼°	13900 »	20	22,2
Abyssinien	13° 10′	13200 »	. . .	. . .
Sierra Nevada de Merida	8° 5′	14000 »	22	22,6
Vulcan von Tolima	4° 46′	14380 »	. . .	. . .
Quito	0° 0′	15320 »	22,5	22,8
Oestl. Cordilleras von Chili	14½ — 18° S.	15000 »	. . .	. . .
Westl. Cordilleras von Chili		16500 »		
Chili, Andes der Küste	41 — 44°	5630 »	. . .	. . .
Magellansstraße	53 — 54°	3480 »	4,3	8

Wie ungleich die Höhe der Schneegränze auf den Gebirgen verschiedener Gegenden ist, wird durch Fig. 188 anschaulich gemacht, in welcher die vorzüglichsten Höhen von Südamerika, Asien und Europa gewissermaßen in eine Gruppe

Fig. 188.



lichsten Höhen von Südamerika, Asien und Europa gewissermaßen in eine Gruppe zusammengestellt sind. Die Lage der Schneegränze ist durch die hier beginnende hellere Schraffirung zu erkennen. Die den durchlaufenden horizontalen Linien entsprechenden Höhen (in pariser Fuß ausgedrückt) sind am rechten Rande der Figur beigesetzt.

Die erste Gruppe links stellt die südamerikanischen Gebirge dar, und zwar ist Nro. 1 der Illimani, Nro. 2 der Aconcagua (ungefähr 33⁰ südl. Br.), Nro. 3 der Chimborazzo.

Dem Himalayagebirge gehören die Gipfel Nro. 4 und 5 an, von denen der erstere den Schamalari, der letztere den Dhawalagiri darstellt. Die linke Seite dieser Gruppe entspricht dem südlichen, die rechte Seite dem nördlichen Abhange des Gebirges, und man sieht hier deutlich wie die Schneegränze auf dem nördlichen Abhange höher liegt als auf dem südlichen.

Nro. 6 stellt den Elbruz, den Gipfel des Kaukasus, dar.

Die übrigen Gipfel in unserer Figur entsprechen europäischen Gebirgen, und zwar Nro. 7 den Pyrenäen, Nro. 8 den Alpen, Nro. 9 dem Sulitelma in Norwegen (67⁰ nördl. Breite), Nro. 10 den Bergen der Insel Magerö, deren nördlichste Spitze das Nordkap bildet.

Man glaubte früher, daß sich die Gränze des ewigen Schnees stets in solchen Regionen finden müßte, wo die mittlere Jahrestemperatur 0⁰ ist. Wenn dies so wäre, so müßten alle Länder, deren mittlere Jahrestemperatur unter Null ist, beständig mit Schnee bedeckt sein, während wir doch z. B. wissen, daß selbst zu Jakutzk, bei einer mittleren Jahrestemperatur von — 8,25⁰, noch Cerealien gebaut werden.

Die Gränze, bis zu welcher selbst im Sommer der Schnee nicht wegschmilzt, kann also nicht ohne Weiteres aus der mittleren Jahrestemperatur eines Ortes abgeleitet werden, sie hängt nicht sowohl von der mittleren Jahreswärme, sondern vielmehr von der Vertheilung der Wärme auf die verschiedenen Jahreszeiten ab.

In Jakutzk ist die mittlere Temperatur des heißesten Monats 14,2°. Bei einer solchen Wärme muß der Schnee wegschmelzen, der Winter mag noch so kalt gewesen sein. Wenn zu Jakutzk bei unveränderter mittlerer Jahrestemperatur von — 8,25° die Wärme so vertheilt wäre, daß sie nur zwischen 0° und — 16° schwankte, so würde der Schnee ewig liegen bleiben.

Die mittlere Temperatur der Schneegränze kann also an Orten, welche ein sehr excessives Klima haben, sehr niedrig sein; in solchen Gegenden aber, für welche die Differenz zwischen der Sommer- und Wintertemperatur geringer ist, wird die mittlere Jahrestemperatur an der Gränze des ewigen Schnees höher sein. Da nun zwischen den Wendekreisen die Schwankungen der Temperatur weit geringer sind als in den gemäßigten Zonen und in den Polargegenden, so wird auch die mittlere Jahrestemperatur der Luft an der Schneegränze in den Tropen weit höher sein als in höheren Breiten.

Denken wir uns einen Ort, an welchem die Temperatur der Luft das ganze Jahr hindurch 0° betrüge, so könnte der Schnee, welcher hier fällt, unmöglich wegschmelzen, und man sieht leicht ein, daß, wenn die Temperatur eines Ortes um nur sehr wenige Grade schwankt, die mittlere Temperatur über 0° sein muß, damit der gefallene Schnee vollkommen wegschmelzen kann, wenn man bedenkt, wie viel Wärme beim Schmelzen des Schnees gebunden wird. Es ist daher leicht zu begreifen, daß in den Tropen die mittlere Lufttemperatur an der Schneegränze über Null ist.

In den Tropen ist die mittlere Lufttemperatur der Schneegränze + 1,2°, während sie in Norwegen vom 60. bis 70. Breitengrade — 5° ist; in Sibirien ist sie natürlich noch niedriger.

Da die Schneegränze vorzugsweise von der Temperatur des heißesten Monats abhängt, so muß die Höhe der Schneegränze in verschiedenen Gegenden, für welche die mittlere Jahreswärme in der Ebene gleich ist, verschieden sein, wenn die Vertheilung der Wärme an beiden Orten ungleich ist, wenn die eine Gegend ein Küstenklima, die andere aber ein Continentalklima hat. Bei gleicher mittlerer Jahreswärme in der Ebene liegt die Schneegränze für ein Küstenklima tiefer als für ein Continentalklima.

So hat z. B. Island und das Innere von Norwegen vom 60. bis 62. Grade fast ganz gleiche mittlere Jahreswärme, in Island ist aber die Sommerwärme geringer, und deshalb liegt auch die Schneegränze bedeutend (2000 Fuß) tiefer.

Je mehr Schnee im Winter fällt, desto heißer muß es im Sommer werden, wenn er ganz wegschmelzen soll; da nun an den Küsten mehr Schnee fällt als im Inneren der großen Continente, wo die Luft weit trockener ist, so ist darin ein neuer Grund zu suchen, warum an den Küsten die Schneegränze verhältnißmäßig tiefer liegt als im Inneren des Landes.

Die Pyrenäen und der Kaukasus liegen ungefähr in gleicher Breite; die mittlere Jahrestemperatur sowohl als auch die mittlere Sommerwärme ist am Fuße der Pyrenäen höher als am Fuße des Kaukasus, und doch ist die Schneegränze am Kaukasus um 2000 Fuß höher als in den Pyrenäen, weil dort weit weniger Schnee fällt als hier.

Sehr auffallend erscheint es auch, daß die Schneegränze auf der nördlichen Abdachung des Himalaya um mehr als 3000 Fuß höher liegt als am südlichen Abhange; es wird dies aber begreiflich, wenn man bedenkt, daß gerade die über dem indischen Ocean mit Feuchtigkeit gesättigte Luft, an den südlichen Abhang des riesenhaften Gebirges anschlagend, dort ungeheure Massen von Regen in den niederen und von Schnee in den höheren Regionen absetzt, während aus der trockenen Luft auf der nördlichen Abdachung ungleich weniger Schnee herabfällt; außerdem aber schließt sich an die nördliche Abdachung die bedeutende Hochebene von Tibet an, während sich das Gebirge auf der Südseite rasch bis zum Spiegel des Meeres herabsenkt.

Das Tafelland von Tibet besteht eigentlich aus mehreren durch Gebirgsketten getrennten Hochebenen von außerordentlicher Trockenheit, auf welchen die Temperaturschwankungen ungemein groß sind; da diese felsigen und sandigen Hochebenen sich im Sommer durch die Absorption der Sonnenstrahlen bedeutend erwärmen, tragen sie viel zur Erhöhung der Schneegränze bei.

Ein ähnlicher Unterschied zeigt sich zwischen den östlichen und westlichen Cordilleras von Chili. Nach den Messungen von Pentland ist die Schneegränze vom 14. bis zum 18. Breitengrade noch bedeutend höher als unter dem Aequator selbst, was offenbar nur von dem Einflusse der Hochebenen herrühren kann.

Die Gränze des Schnees steigt und sinkt mit den verschiedenen Jahreszeiten; diese Schwankung ist in der heißen Zone Amerikas sehr unbedeutend, sie beträgt, nach Humboldt, nur 250 bis 350 Fuß; man darf jedoch die Gränze des Schnees nicht mit den Gränzen verwechseln, bis zu welchen noch von Zeit zu Zeit Schnee fällt und auch einige Zeit liegen bleibt. In den mexicanischen Gebirgen liegen die Gränzen, zwischen welchen die Schneegränze auf- und niedersteigt, schon bedeutend weiter, nämlich um 2000 Fuß, auseinander; dieser Unterschied ist leicht zu begreifen, wenn man bedenkt, daß die mittlere Temperatur der drei wärmsten Monate in Mexico um 5°, in Quito aber nur 1° bis 2° mehr beträgt als die mittlere Temperatur der drei kältesten Monate.

Die Gletscher. In den von Bergkämmen und Gipfeln eingeschlossenen 139
und geschützten Hochthälern werden im Laufe des Winters ungleich größere Massen von Schnee angehäuft als auf den Schneefeldern, indem theils der Wind den Schnee in solchen Thälern zusammenweht, theils Lawinen in dieselben hinabstürzen.

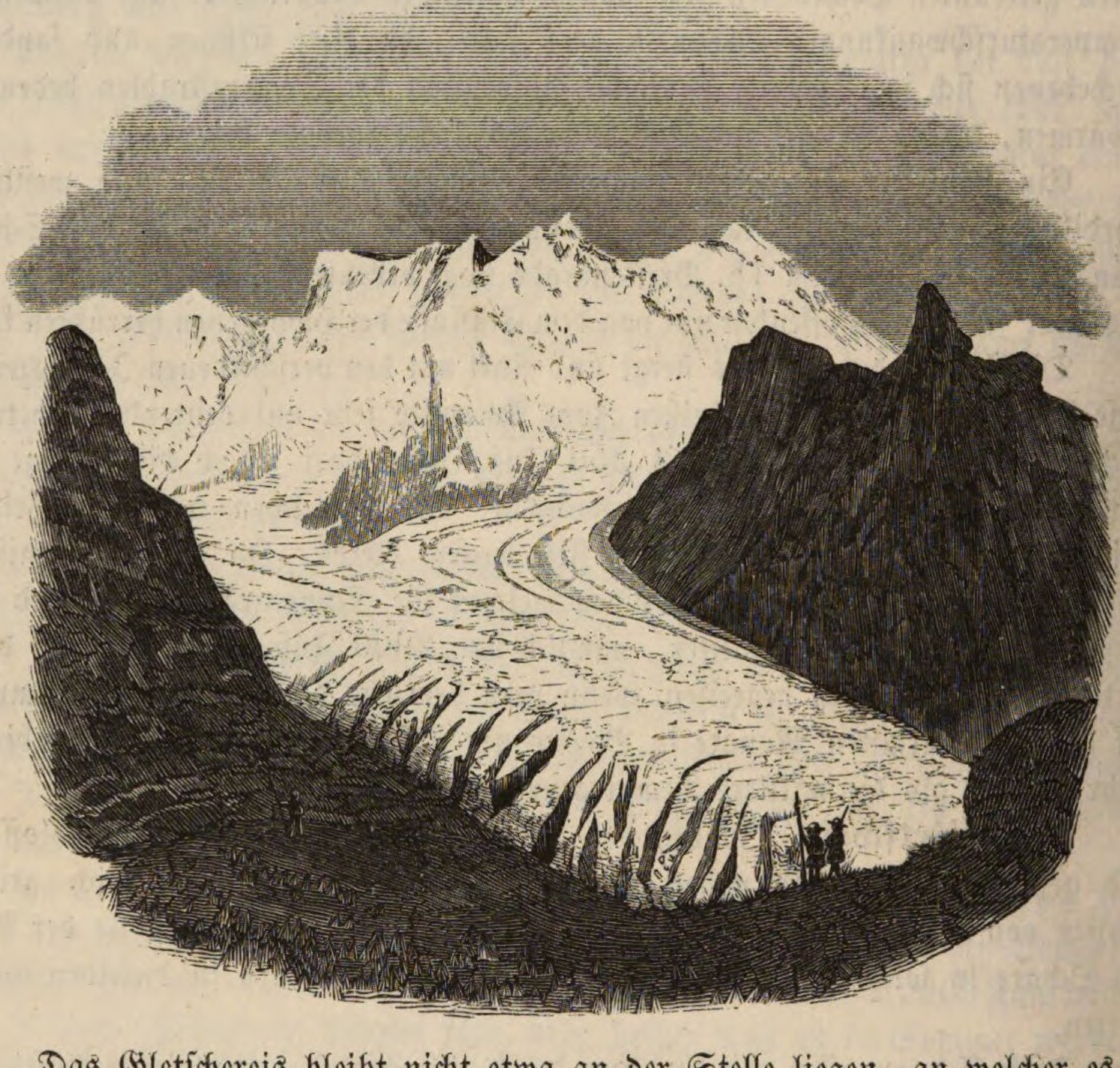
Diese Schneemassen erleiden nun durch abwechselndes theilweises Aufthauen und Wiedergefrieren allmälig eine gänzliche Umänderung ihres Aggregatzustandes. Das durch Schmelzen gebildete Wasser dringt in die Zwischenräume zwischen den einzelnen Schneekryställchen ein und füllt sie abwechselnd mit Luftblasen aus; der nächste Frost verwandelt diesen mit Wasser getränkten Schnee in eine Masse körnigen Eises, welche mit dem Namen Firn bezeichnet wird.

Durch eine mehrmalige, in Folge der Abwechselung von Sommer und Winter in großem Maßstabe stattfindende Wiederholung des eben angedeuteten Processes wird die Schnee- und Firnmasse allmälig mehr und mehr in Eis verwandelt, welches, sich in die Thäler hinabsenkend, die Gletscher bildet, während

jeder Winter neue Schneemassen als Material zu fernerer Gletscherbildung in den Hochthälern anhäuft.

Das **Gletschereis** bildet keine compacte und durchsichtige Masse, wie das Eis der Seen und Flüsse; es läßt sich vielmehr leicht in Körner zerschlagen, welche einzeln in hohem Grade durchsichtig, aber durch Luftbläschen von einander getrennt sind. Weil die ganze Masse der Gletscher aus solchen Körnern besteht, so kann man auch mit Leichtigkeit auf denselben gehen. An dem unteren Ende der Gletscher haben diese Körner die Größe einer Wallnuß, während sie höher hinauf kaum die Größe einer Erbse erreichen, und der eigentliche Firn eine ganz sandartige Masse bildet.

Fig. 189.



Das Gletschereis bleibt nicht etwa an der Stelle liegen, an welcher es gebildet wurde, sondern die ganze Masse ist in einer beständigen, langsamen, thalabwärts gerichteten Bewegung begriffen, indem das Eis theils in Folge seiner eigenen Schwere auf der geneigten Basis langsam hinabgleitet, theils durch das Gewicht der höher liegenden Firn- und Schneemassen hinabgeschoben wird. Das Gletschereis verhält sich aber hierbei nicht wie ein zusammenhängender fester Körper, sondern mehr wie eine zähe, dickflüssige Masse, denn die Geschwindigkeit der Gletscherbewegung ist keineswegs für den ganzen Querschnitt dieselbe; in der Mitte des Gletscherstromes ist die Bewegung weit rascher thalabwärts als an den Seitenrändern, und dieser Umstand bewirkt im Verein mit mehreren

anderen, daß sich im Gletschereis zahlreiche Klüfte und Spalten bilden, wie dies Fig. 189 zeigt, welche einen Theil des Zermattgletschers darstellt.

Wie enorm die Mächtigkeit der Eismassen ist, welche die Gletscher in das Thal herabführen, davon giebt die Anschauung des unteren Gletscherendes die beste Vorstellung, weil man hier die Höhe der Eismassen übersehen kann, wie dies Fig. 190 erläutert, welche das untere Ende des Zermatt- oder Gornergletschers, eines des mächtigsten in der Schweiz, darstellt.

Die Geschwindigkeit, mit welcher die Gletscher in das Thal hinabschieben, hängt natürlich von localen Verhältnissen, z. B. von der Neigung der Thalsohle, von der Mächtigkeit der Gletscher- und Firnmasse u. s. w. ab. Auch schwankt die Größe der Gletscherbewegung mit der Jahreszeit; sie ist größer im Sommer, wenn durch Wegschmelzen der Basis und durch das Wasser, welches die feineren

Fig. 190.



Klüfte und Spalten ausfüllt, die Beweglichkeit der Gletschermasse erhöht wird; sie ist dagegen am geringsten im Winter, wenn durch das Gefrieren alles Wassers der ganze Gletscher in compacte Eismassen verwandelt und durch Anfrieren an den Boden mit diesem fester vereinigt wird.

Durch Messungen, welche am Aaregletscher angestellt wurden, hat man gefunden, daß das Fortrücken desselben in der Mitte seiner Länge ungefähr 250 Fuß jährlich, also im Durchschnitt 9 Zoll den Tag beträgt. Am unteren Ende desselben beträgt das Vorrücken nur ungefähr 155 Fuß jährlich.

Die untere Gränze des Gletschers wird sich natürlich da finden, wo gerade so viel Eis an der vorderen Fläche wegschmilzt, als die Masse des Gletschers in gleicher Zeit vorrückt. In wärmeren Jahren wird sich deshalb der Gletscher

etwas zurückziehen, und wenn mehrere kühlere und schneereiche Jahre auf einander folgen, so senkt sich der Gletscher weiter in das Thal herab.

Die Gletscher müssen sich demnach in den Thälern der Hochgebirge weit unter die Gränze des ewigen Schnees hinabziehen, wie dies auch in Fig. 188 bei Nro. 8 angedeutet ist. So reicht z. B. der untere Grindelwaldgletscher, welcher überhaupt unter allen Alpengletschern am tiefsten herabsteigt, bis zu einer Höhe von 3065 Fuß über den Meeresspiegel herunter, während die Schneegränze in jenen Gegenden ungefähr 8000 Fuß hoch ist.

Die Gletscher senken sich also in eine Region herab, welche schon eine üppige Vegetation zeigen kann, und so kommt es, daß man nicht selten die unteren Partien der Gletscher von Getreidefeldern und von Baumwuchs umgeben findet.

Die nach Schlagintweit's Karte des Monte Rosa copirte Karte des Lysgletschers, Fig. 191, ist sehr geeignet, einige der die Gletscherbildung bedingenden Umstände anschaulich zu machen. Das in der Tiefe ganz enge Lysthal breitet sich in der Höhe zu einem weiten Thalkessel aus, welcher auf der Nordseite durch den Lyskamm, im Osten durch den Kamm der Vincentpyramide und im Westen durch einen diesem parallel laufenden, fast eben so hohen Gebirgskamm eingeschlossen ist. Die ungeheure Schnee- und Firnmasse, welche sich in diesem hoch über der Schneegränze liegenden Thalkessel anhäuft, ist es nun, welche den Lysgletscher ernährt, von den Firnfeldern aus wie ein Strom langsam herabfließt und sich in das unten enger werdende Lysthal keilförmig einzwängt. Das untere Ende dieses Gletschers findet sich in einer Höhe von 6200 Fuß, die mittlere Höhe der Firnlinie, d. h. der Gegend, in welcher die Firnmasse in Gletschereis übergeht, beträgt ungefähr 9230 Fuß. Die mittlere Neigung der Firnmasse ist 13° 20′, die mittlere Neigung des Gletschers ist 18°.

Das untere Ende und die Seiten der Gletscher sind von Steinwällen umgeben, welche aus Schutt und den Trümmern der umgebenden Felsen zusammengesetzt sind und welche von der Eismasse des Gletschers fortgeschoben werden. Solche Wälle werden Moränen genannt, und zwar unterscheidet man Endmoränen oder Steinwälle, welche den Gletscher vorn, und Seitenmoränen, welche ihn zu beiden Seiten einfassen. — Stoßen zwei aus höheren Seitenthälern herabkommende Gletscher in demselben Thalbett zusammen, so daß sie sich zu einem einzigen Gletscher vereinigen, so vereinigen sich auch die einander zugewandten Seitenmoränen zu einer Mittelmoräne oder Gufferlinie, welche als ein langer Steinwall auf der Mitte des Gletschers fortgeschoben wird.

Dieser Umstand, daß die Gletscher den Transport größerer und kleinerer Gesteinsmassen vermitteln und sie weit von ihrem Ursprunge absetzen, giebt ihnen in geologischer Beziehung eine große Bedeutung; doch ist hier nicht der Ort, diesen Gegenstand weiter zu erörtern.

Die ungeheure Eismasse der Gletscher muß bei ihrer Bewegung nothwendig bedeutende Reibungseffecte auf die Felsen des Thalgrundes und der Seitenwände veranlassen; die scharfen Ecken und Kanten der Felsen werden abgestumpft und gerundet, die Flächen werden geebnet und förmlich geschliffen

und polirt, und da, wo zufällig einzelne lose Gesteinsstücke zwischen dem Gletschereis und den seitlichen Felsen eingekeilt sind, werden durch das gewaltsame Fortschieben dieser Gesteinsfragmente in den seitlichen Felswänden Ritzen und

Fig. 191.

KARTE DES LYSGLETSCHERS.



Streifen hervorgebracht, welche die Wirkung der Gletscher wesentlich von der abrundenden und glättenden Wirkung des fließenden Wassers unterscheiden.

Nach dem, was oben über die Bildung der Gletscher gesagt wurde, ist klar, daß der Wechsel der Jahreszeiten zu ihrer Bildung wesentlich ist; die Gletscher fehlen deshalb auch in den schneebedeckten Gebirgen der Tropen, weil dort das ganze Jahr hindurch fast dieselbe Temperatur herrscht, also das abwechselnde Thauen und Wiedergefrieren in solcher Weise, wie es zur Bildung von Gletschern nothwendig ist, nicht stattfinden kann. Im Himalayagebirge, wo die Temperaturschwankungen im Laufe des Jahres bereits sehr bedeutend sind, kommen auch mächtige Gletscher vor.

Am bedeutendsten sind die Gletscher in den arktischen Gegenden ausgebildet. Der zehnte Theil der Insel Island ist mit Gletschern bedeckt und in Grönland sowohl wie in Spitzbergen reichen die Gletscher bis zum Meere hinab. Solche in das Meer vorgeschobene Gletschermassen werden öfters durch mancherlei Ursachen vom Lande losgelöst, und werden dann durch die Meeresströmungen als kolossale Eisberge weit von dem Orte ihrer Entstehung weggeführt.

140 **Absorption der Wärmestrahlen durch die Atmosphäre.** Wenn man mit Hülfe einer Sammellinse Zunder durch Concentration der Sonnenstrahlen anzünden will, so wird man einen großen Unterschied finden, je nachdem man den Versuch Mittags anstellt, wo die Sonne hoch am Himmel steht, oder des Abends, wenn sie ihrem Untergange nahe ist; während sich der Schwamm des Mittags leicht entzündet, geschieht dieses am Abend entweder nur sehr schwierig oder gar nicht; die Intensität der von der Sonne zu uns kommenden Wärmestrahlen ist also in diesen beiden Fällen eben so ungleich wie die Intensität der Lichtstrahlen; Abends können wir die rothgelbe Scheibe der untergehenden Sonne wohl ansehen, Mittags aber wird das Auge durch den Glanz der Sonnenstrahlen geblendet.

Dieser Unterschied in der Intensität der Licht- und Wärmestrahlen, welche von der Sonne zu uns kommen, rührt offenbar daher, daß der Weg, welchen die Sonnenstrahlen durch die Atmosphäre hindurch zurückzulegen haben, bedeutend größer ist, wenn die Sonne dem Horizonte nahe steht; je größer aber der Weg ist, den die Sonnenstrahlen in der Atmosphäre zurücklegen, desto mehr Licht und Wärme wird absorbirt werden.

Um annähernd die Wärmeabsorption in der Atmosphäre zu bestimmen, hat Herschel ein Instrument construirt, welches er Heliometer genannt hat. Pouillet gab diesem Instrumente folgende vervollkommnete Einrichtung.

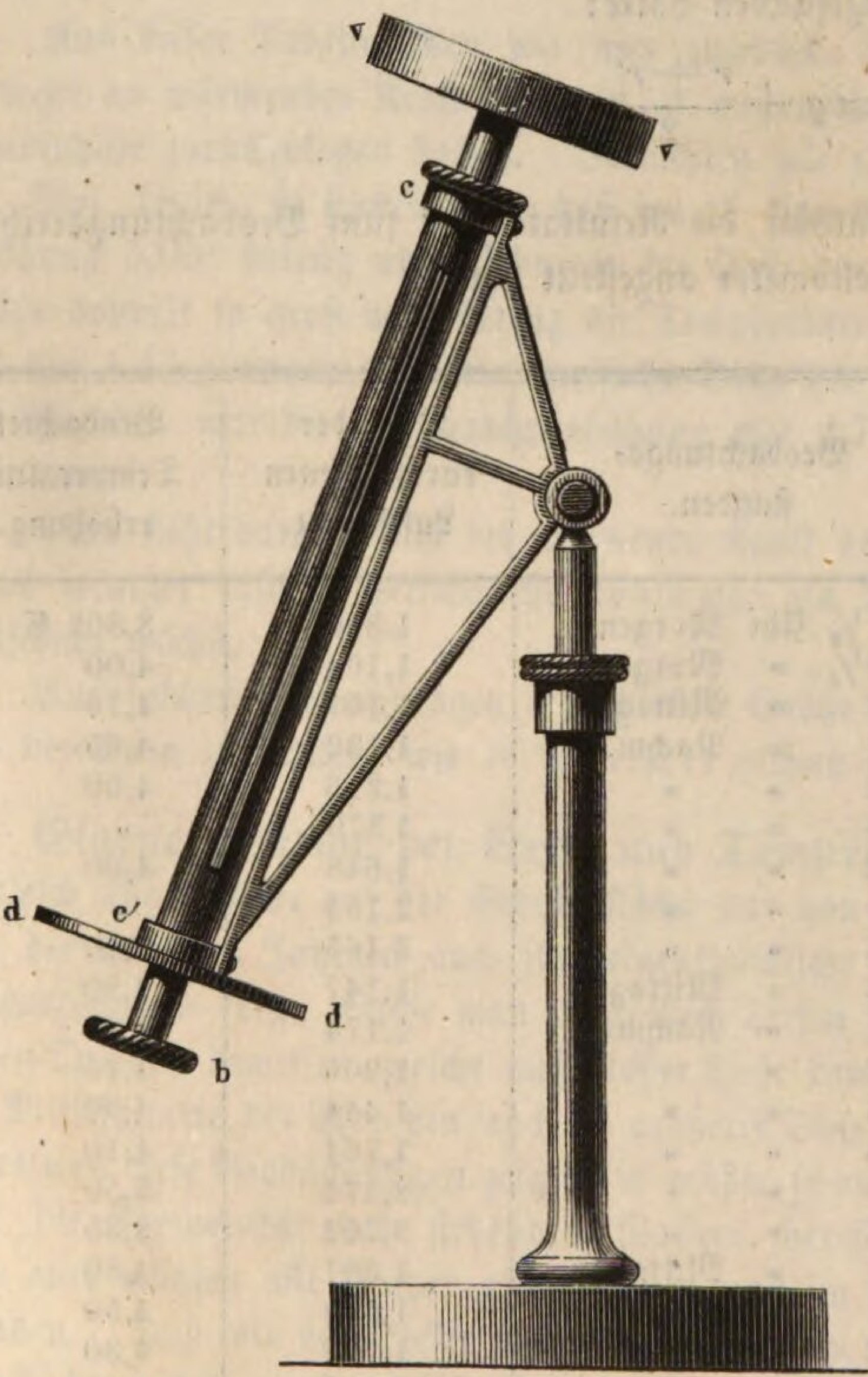
Das cylindrische Gefäß v, Fig. 192, ist aus dünnem Silberblech gemacht; sein Durchmesser beträgt ungefähr 1 Decimeter, seine Höhe 14 bis 15 Millimeter, so daß es ungefähr 100 Gramm Wasser aufnehmen kann. In dem Gefäße befindet sich die Kugel eines Thermometers, dessen Röhre durch einen das Gefäß verschließenden Kork in eine hohle Metallröhre hineinragt; diese Metallröhre geht durch zwei Hülsen bei c und c', so daß sie mit dem Gefäße v mittelst des Knopfes b beständig um ihre Axe gedreht werden kann; diese Umdrehung hat zum Zweck, das Wasser im Gefäße v in beständiger Bewegung zu erhalten, damit sich die Wärme in demselben möglichst gleichförmig verbreitet.

Die obere Fläche des Gefäßes v ist mit Ruß sorgfältig geschwärzt. Die Scheibe d hat denselben Durchmesser wie das Gefäß v; richtet man also das Instrument so gegen die Sonne, daß der Schatten des Gefäßes v gerade auf

die Scheibe *d* fällt, so kann man sicher sein, daß die Sonnenstrahlen die vordere Fläche des Gefäßes rechtwinklig treffen.

Wenn die geschwärzte Oberfläche des Instrumentes rechtwinklig von den Sonnenstrahlen getroffen wird, so steigt die Temperatur des Wassers in *v* über die der Umgebung.

Fig. 192.



Wenn das Gefäß *v* sich erwärmt, so verliert es auch Wärme, theils durch Strahlung gegen den Himmelsraum, theils an die Umgebung. Wenn ein solcher Verlust nicht stattfände, so würde die durch den wärmenden Einfluß der Sonnenstrahlen hervorgebrachte Temperaturerhöhung des Gefäßes *v* jedenfalls bedeutender sein als die, welche man beobachtet; um aber auf die Wärme schließen zu können, welche dem Instrumente wirklich durch die Sonnenstrahlen zugeführt wird, ist deshalb an den beobachteten Temperaturerhöhungen eine Correction anzubringen. Der Versuch wird deshalb in folgender Weise angestellt.

Wenn das Wasser in dem Gefäße die Temperatur der umgebenden Luft hat, wird das Instrument nahe an dem Orte, wo man es den Sonnenstrahlen aussetzen will, im Schatten aufgestellt, und zwar so, daß die Wärme von der berußten Fläche frei gegen den Himmel ausstrahlen kann. Man beobachtet nun fünf Minuten lang die Erkaltung; in der folgenden Minute bringt man einen Schirm vor die schwarze Fläche und richtet dann den Apparat so, daß die Sonnenstrahlen rechtwinklig einfallen, wenn man am Ende der sechsten Minute den Schirm wegnimmt. Während der folgenden fünf Minuten beobachtet man die durch die Sonnenstrahlen hervorgebrachte Temperaturerhöhung, indem man das Wasser des Gefäßes *v* in beständiger Bewegung erhält; am Ende der elften Minute setzt man den Schirm wieder vor, zieht den Apparat an seine frühere Stelle zurück und beobachtet dann die während der folgenden fünf Minuten stattfindende Erkaltung.

Es sei g die in fünf Minuten durch die Sonnenstrahlen hervorgebrachte Temperaturerhöhung, r und r' die Temperaturabnahme, welche der Apparat in den fünf vorhergehenden und in den fünf folgenden Minuten erleidet, so ist die Temperaturerhöhung t, welche durch die Sonnenstrahlen hervorgebracht sein würde, wenn kein Wärmeverlust stattgefunden hätte:

$$t = g + \frac{r + r'}{2}.$$

Die folgende Tabelle enthält die Resultate von fünf Beobachtungsreihen, welche Pouillet mit dem Heliometer angestellt hat.

Jahr und Tag der Beobachtungen.	Beobachtungsstunden.	Dicke der durchlaufenen Luftschicht.	Beobachtete Temperaturerhöhung.
Am 28. Juni 1837 . .	7½ Uhr Morgens.	1,860	3,80° C.
	10½ » Morgens.	1,164	4,00
	12 » Mittags.	1,107	4,70
	1 » Nachm.	1,132	4,65
	2 » »	1,216	4,60
	3 » »	1,370	»
	4 » »	1,648	4,00
	5 » »	2,151	»
	6 » »	3,165	2,40
Am 27. Juli 1837 . .	12 » Mittags.	1,147	4,90
	1 » Nachm.	1,174	4.85
	2 » »	1,266	4,75
	3 » »	1,444	4,50
	4 » »	1,764	4,10
	5 » »	2,174	3,50
	6 » »	3,702	3,35
Am 22. September 1837	12 » Mittags.	1,507	4,60
	1 » Nachm.	1,559	4,50
	2 » »	1,723	4,30
	3 » »	2,102	4,00
	4 » »	2,898	3,10
	5 » »	4,992	»
Am 4. Mai 1838. . .	12 » Mittags.	1,191	4,80
	1 » Nachm.	1,223	4,70
	2 » »	1,325	4,60
	3 » »	1,529	4,30
	4 » »	1.912	3,90
	5 » »	2,603	3,20
	6 » »	4,311	1,95
Am 11. Mai 1838 . .	11 » Morgens.	1,193	5,05
	12 » Mittags.	1,164	5,10
	1 » Nachm.	1.193	5,05
	2 » »	1,288	4,85
	3 » »	1,473	4,70
	4 » »	1,812	4,20
	5 » »	2,465	3,65
	6 » »	3,943	2,70

Die erste Columne dieser Tabelle bezeichnet Jahr und Tag der Beobachtungen, die zweite enthält die Beobachtungsstunden, die dritte die Dicke der von den Sonnenstrahlen durchlaufenen Luftschicht, die verticale Höhe der Atmosphäre gleich 1 gesetzt; die vierte enthält die beobachtete Temperaturerhöhung des Wassers im Heliometer.

Aus dieser Tabelle sehen wir nun zunächst, daß die Sonnenstrahlen um so mehr an wärmender Kraft verlieren, je weiter der Weg ist, welchen sie in der Atmosphäre zurückzulegen haben. Betrachten wir z. B. die Beobachtungen vom 11. Mai 1838, so finden wir, daß um 1 Uhr Nachmittags die Temperaturerhöhung 5,05° betrug um 5 Uhr, wo die Dicke der durchlaufenen Luftschicht ungefähr doppelt so groß war, betrug die Temperaturerhöhung nur 3,65°, sie war also um 1,4° geringer; für die dreifache Dicke der Luftschicht, ungefähr um 6 Uhr Abends, war die Temperaturerhöhung nur 2,7°, also abermals um 0,9° geringer.

Man sieht daraus, daß die wärmende Kraft der Sonnenstrahlen in einem etwas weniger raschen Verhältnisse abnimmt, als die Dicke der durchlaufenen Luftschicht wächst.

Aus solchen Beobachtungen die absolute Größe der atmosphärischen Absorption berechnen zu wollen, wie es Pouillet gethan hat, ist nicht wohl zulässig.

Eigene Wärme der Erde und Temperatur des Weltraums. 140

Obgleich alle Wärme auf der Erdoberfläche nur von der Sonne kommt, so hat doch die Erde im Inneren auch ihre eigenthümliche Wärme, wie aus der Temperaturzunahme folgt, welche man in großen Tiefen beobachtet hat, und wie die heißen Quellen beweisen, welche aus großer Tiefe kommen. Wenn die Wärme nach dem Mittelpunkte der Erde hin auch in größerer Tiefe noch in dem Maße zunimmt, wie es uns diese Beobachtungen zeigen, so müßte schon in einer Tiefe von 10000 Fuß die Temperatur des siedenden Wassers herrschen, im Mittelpunkte der Erde aber müßten alle Körper glühend sein und im geschmolzenen Zustande sich befinden. Daß wir von dieser ungeheuren Hitze im Inneren der Erde auf der Oberfläche nichts merken, läßt sich durch das schlechte Leitungsvermögen der erkalteten Erdkruste erklären, welche diesen glühenden Kern einschließt.

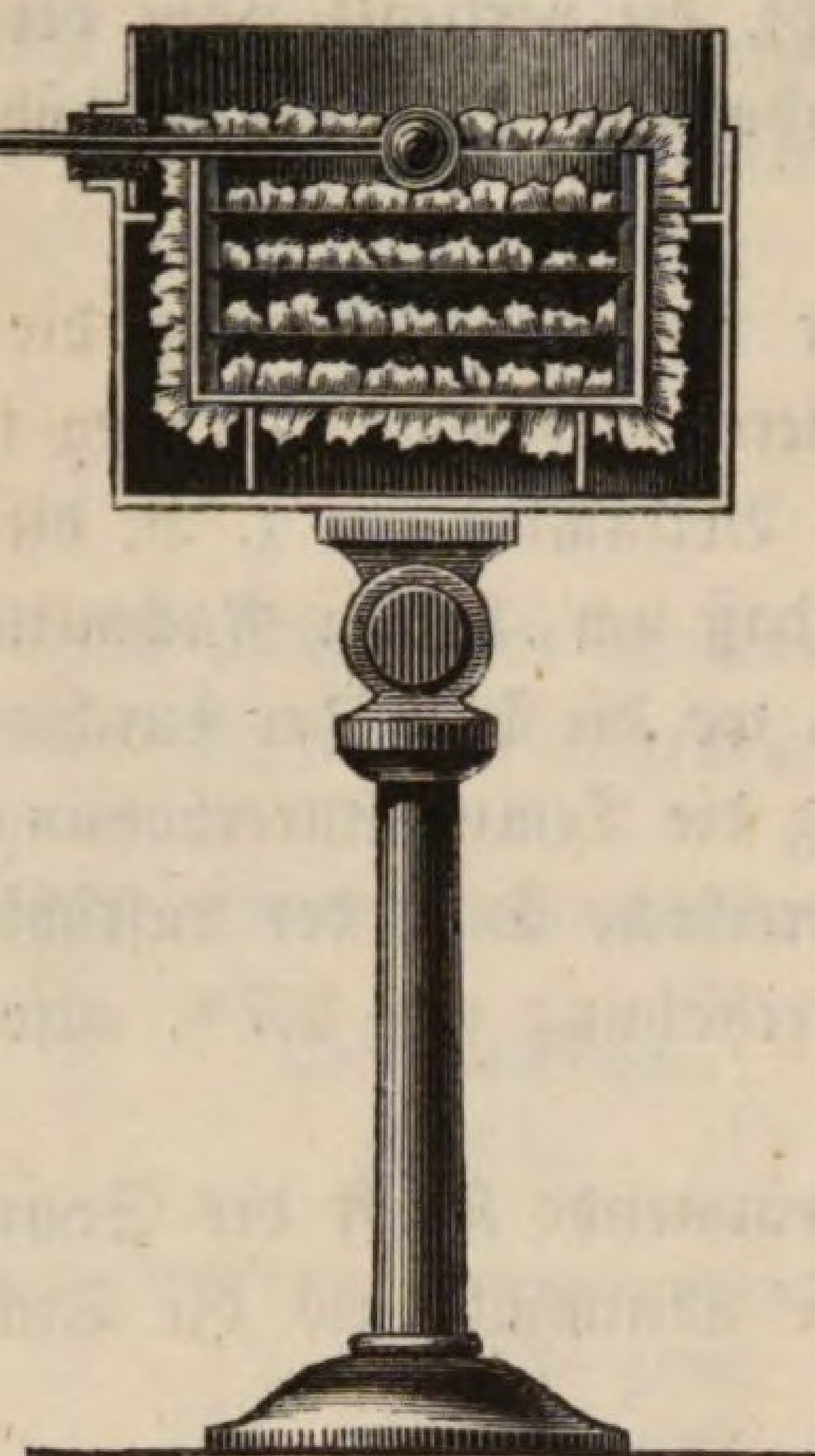
Näheres über die Erdwärme wird in den nächsten Paragraphen folgen.

Auch der Weltraum hat seine eigenthümliche Temperatur, und es hat nicht an Versuchen gefehlt, dieselbe zu bestimmen. Nach Fourier ist die Temperatur des Weltraums — 50° bis — 60°; Arago aber hat darauf aufmerksam gemacht, daß sie jedenfalls bedeutend geringer sein muß, da man ja auf dem Fort Reliance in Nordamerika eine Temperatur von — 56,7° beobachtet hat. Eine so starke Temperaturerniedrigung wäre auf der Erde nicht möglich, wenn die Temperatur des Weltraums nicht bedeutend geringer wäre.

Die Erkaltung der Erdoberfläche durch die nächtliche Strahlung ist eine Folge davon, daß die Körper auf der Erdoberfläche ihre Wärme gegen diesen kalten Weltraum ausstrahlen. Um die Gesetze der nächtlichen Strahlung zu ermitteln, hat Pouillet ein Instrument construirt, welches er Actinometer

nennt und welches Fig. 193 dargestellt ist. Es besteht aus einem Thermometer,

Fig. 193.



welches in einem Metallcylinder horizontal in solcher Weise angebracht ist, daß durch Schwanenfedern jede Wärmezuleitung von unten und von der Seite her gehindert wird. Wenn dieser Apparat in einer heiteren Nacht ins Freie gestellt wird, so muß das Thermometer natürlich bedeutend unter die Temperatur der umgebenden Luft sinken. Die folgende Tabelle enthält einige Resultate, welche Pouillet mit diesem Instrumente erhalten hat.

Tage.	Stunden.	Temperatur der Luft.	Temperatur des Actinometers.	Unterschiede.	Tage.	Stunden.	Temperatur der Luft.	Temperatur des Actinometers.	Unterschiede.
Vom 20. bis 21. April.					Vom 5. bis 6. Mai.				
20. April	8 Uhr Abds.	5,6	— 0,8	6,4	5. Mai	5 Uhr Abds.	25,5	19,9	5,6
	9 » »	4,5	— 2,0	6,5		6 » »	25,1	17,5	7,6
	10 » »	3,6	— 3,0	6,6		7 » »	23,1	15,0	8,1
21. April	4½ » Mrgs.	0,0	— 7,0	7,0		8 » »	22,9	13,9	9,0
	5 » »	0,0	— 7,0	7,0		9 » »	21,5	12,5	9,0
	5½ » »	0,1	— 6,5	6,6		10 » »	17,5	10	7,5
					6. Mai	4 » Mrgs.	12,1	5	7,1
						4½ » »	12,1	5	7,1
						5 » »	12	6	6,0

Diese Versuche zeigen uns, daß die Temperatur des Actinometers fast in derselben Weise abnimmt, wie die Temperatur der Luft, daß also bei niedriger Lufttemperatur eine eben so starke Strahlung gegen den Himmelsraum stattfindet

wie bei hoher. So fanden auch Wells und Daniell eine durch die nächtliche Strahlung bewirkte Temperaturerniedrigung von 7 bis 8° unter die Temperatur der Luft; Wilson beobachtete einen Unterschied von fast 9° zwischen der Temperatur der Schneeoberfläche und der Luft; Scoresby und Parry haben in den Polargegenden ähnliche Beobachtungen bei einer Lufttemperatur von — 20° gemacht. Dies beweist nun, daß die Temperatur des Weltraums sehr gering sein muß, denn sonst müßte der Einfluß der nächtlichen Strahlung bei niedriger Temperatur geringer sein als bei hoher.

Pouillet hat die Temperatur des Weltraums zu — 142° bestimmt; da jedoch die Schlüsse, durch welche er zu diesem Resultate gelangte, sehr gewagt sind, indem ihre Grundlage höchst unsicher ist, so mag hier die Anführung dieses Resultats genügen.

Temperatur des Bodens. Wir haben bisher nur immer die Tempe- 142
ratur der Luft, aber nicht die Temperatur der oberen Bodenschichten besprochen, welche je nach der Natur der Bodenfläche oft bedeutend von der Lufttemperatur verschieden sein kann; ein nackter, des Pflanzenwuchses beraubter, steiniger oder sandiger Boden wird durch die Absorption der Sonnenstrahlen weit heißer, ein mit Pflanzen bedeckter Boden, z. B. ein Wiesengrund, wird durch die nächtliche Strahlung weit kälter als die Luft, deren Temperatur schon durch die fortwährenden Luftströmungen mehr ausgeglichen wird. In den afrikanischen Wüsten steigt die Hitze des Sandes oft auf 50 bis 60°. Ein mit Pflanzen bedeckter Boden bleibt kühler, weil die Sonnenstrahlen ihn nicht dierect treffen können, die Pflanzen selbst binden gewissermaßen eine große Wärmemenge, indem durch die Vegetation eine Menge Wasser verdunstet; sie erkalten aber, wie wir bald näher sehen werden, wenn wir die Thaubildung betrachten, bei ihrem großen Emissionsvermögen durch Ausstrahlung der Wärme so stark, daß die Temperatur des Grases oft 6 bis 9 Grad unter die der Luft sinkt. Im Inneren der Wälder ist die Luft beständig kühl, weil die dichte Laubdecke auf dieselbe Weise abkühlend wirkt wie eine Grasdecke, und weil die an den Gipfeln der Bäume abgekühlte Luft sich niedersenkt.

Wegen des unvollkommenen Wärmeleitungsvermögens kann die Wärme der obersten Bodenschichten nur nach und nach in das Innere eindringen; wenn die Oberfläche aber erkaltet, so verlieren die tieferen Bodenschichten weniger schnell ihre Wärme; in einer geringen Tiefe werden deshalb die Temperaturschwankungen weit geringer sein als an der Oberfläche selbst. In Deutschland verschwinden schon bei einer Tiefe von 2 Fuß die täglichen Temperaturschwankungen, und in einer noch größeren Tiefe verschwinden sogar die jährlichen Variationen, so daß hier beständig eine Temperatur herrscht, welche nur wenig von der mittleren Temperatur des Ortes abweicht.

Seit 1671 hatte Cassini bemerkt, daß die Temperatur der Keller des Observatoriums zu Paris während des ganzen Jahres sich nicht ändert. Im Jahre 1730 machte Lahire dieselbe Beobachtung. Der Graf Cassini, Mitglied der Akademie der Wissenschaften, übersah zuerst die große Wichtigkeit dieser Erscheinung; im Jahre 1771 fing er an, sie durch eine Reihe von Versuchen näher

zu untersuchen, und im Jahre 1783 stellte er gemeinschaftlich mit Lavoisier in den Kellern des Observatoriums einen sehr empfindlichen Apparat auf, welcher entscheidende Resultate liefern mußte. Dieser Apparat, welcher noch jetzt daselbst aufgestellt ist, hat folgende Einrichtung.

Auf dem Boden des Kellers, in einer Tiefe von 27,6 Metern, erhebt sich ein massiver Steinblock von 1,3 Meter Höhe, auf welchem ein mit feinem Sande gefülltes Glasgefäß steht; in diesem Sande steckt die Kugel eines Thermometers, dessen Theilung auf Glas geätzt ist. Das Thermometer ist von Lavoisier selbst construirt und mit wohl gereinigtem Quecksilber gefüllt; seine Kugel hat 7 Centimeter im Durchmesser, und die Röhre ist sehr fein, so daß ein Grad eine Länge von ungefähr 95 Millimetern einnimmt, daß also $^1/_{100}$ Grad noch fast eine Länge von 1^{mm} hat; man kann demnach noch die Hälfte von $^1/_{100}$ Grad ablesen. Das Thermometer geht nur bis auf 16°, es hat aber oben ein kleines Behälter, in welches das Quecksilber hineinsteigen kann, wenn etwa die Temperatur über 16° steigen sollte.

Dieses Thermometer zeigt nun eine constante Temperatur von 11,82° C., und diese Temperatur hat sich seit einem halben Jahrhundert nicht geändert.

Die Tiefe, in welcher die jährlichen Temperaturschwankungen verschwinden, ist nicht in allen Gegenden dieselbe; sie hängt von der Leitungsfähigkeit des Bodens, vorzüglich aber auch von der Größe des Temperaturunterschiedes der heißesten und kältesten Jahreszeit ab. In der heißen Zone Amerikas fand Boussingault schon in einer Tiefe von 5 bis 6 Decimetern eine constante Temperatur, weil hier die Wärme ziemlich gleichförmig über die verschiedenen Zeiten des Jahres verbreitet ist.

Wie mit zunehmender Tiefe die jährlichen Veränderungen der Temperatur abnehmen, ersieht man aus folgenden Resultaten, welche die zu Brüssel in dieser Beziehung von 1834 bis 1837 angestellten Versuche geliefert haben.

Tiefe.	Schwankungen der Temperatur im Laufe eines Jahres.
$0{,}19^m$	13,28°
0,45	12,44
0,75	11,35
1,00	10,58
1,95	7,59
3,90	4,49
7,80	1,13

Vergleicht man die Beobachtungen von Paris, Straßburg, Zürich und Brüssel, so ergiebt sich, daß die jährlichen Schwankungen ungefähr in einer Tiefe von 24 Metern verschwinden.

Da die Wärme nur allmälig von der Oberfläche in die Tiefe eindringt, so ist klar, daß in der Tiefe das Maximum der Temperatur später erreicht wird als in der Atmosphäre, wie dies auch folgende von Forbes in Edinburgh in verschiedenen Bodenarten angestellte Versuche bestätigen.

Bodenart.	Jährliche Temperaturschwankung in einer Tiefe von				Zeitpunkt des Temperaturmaximums in einer Tiefe von			
	1m	1,9m	3,9m	7,8m	1m	1,9m	3,9m	7,8m
Trapp . .	10,53° C.	6,61°	3,5°	0,80°	6. Aug.	2. Sept.	17. Oct.	8. Jan.
Sand . .	11,23	8,30	4,19	1,16	31. Juli	24. Aug.	7. Oct.	30. Dec.
Sandstein	9,58	7,72	5,22	2,28	5. Aug.	19. Aug.	11. Sept.	11. Nov.

Aus diesen Versuchen ergiebt sich nun auch, wie ungleich die Leitungsfähigkeit verschiedener Fels- und Bodenarten für die Wärme ist. Trapp (Dolerit) besitzt unter den drei genannten das geringste, Sandstein das beste Leitungsvermögen. In gleicher Tiefe sind im Sandstein die Schwankungen der Temperatur nicht allein größer, sondern das Maximum der Temperatur stellt sich auch früher ein als im Sand und Dolerit.

In solchen Gegenden, deren mittlere Jahrestemperatur unter dem Gefrierpunkte ist, muß in einer bestimmten Tiefe der Boden stets gefroren sein. So ist z. B. zu Jakutzk, dessen mittlere Jahrestemperatur — 9,7° C. ist, wie schon oben erwähnt wurde, trotz der bedeutenden Sommerwärme in einiger Tiefe der Boden beständig gefroren. In der Hoffnung, Wasser zu finden, legte Ermann hier einen Brunnen an, fand aber in einer Tiefe von 50 Fuß noch eine Temperatur von — 7,5°; dieser Brunnen wurde später durch Schergin bis auf 358 Fuß vertieft. Folgendes sind die Temperaturen des Bodens in verschiedenen Tiefen:

15,2m . . . . — 7,5° C.
23,5 . . . . — 6,9
36,3 . . . . — 5,0
116,5 . . . . — 0,6

Innere Erdwärme. Wenn man in der Erdoberfläche über den Punkt 143
hinab vordringt, in welchem die jährlichen Temperaturschwankungen verschwinden, so findet man eine mit wachsender Tiefe stets zunehmende Temperatur. In Bergwerken war diese Erscheinung schon lange bemerkt worden, ehe man noch regelmäßige Beobachtungen darüber anstellte; die Bergleute wußten, daß in der Tiefe nicht allein die Witterungsveränderungen nicht mehr fühlbar sind, sondern daß es daselbst auch außerordentlich warm ist.

Saussure fand zu Bex in Canton Waadt in einem Schachte, welcher seit drei Monaten von Niemandem befahren worden war, eine Temperatur von

14,4° C in einer Tiefe von 312 Fuß
15,6 » » » » 550 »
17,4 » » » » 660 »

Später wurden ähnliche Messungen in den Bergwerken der verschiedensten Gegenden angestellt, und alle führten zu dem gleichen Resultate, wenn sich auch nicht an allen Orten das gleiche Gesetz der Wärmezunahme herausstellte. Die in dieser Beziehung gefundenen Ungleichheiten sind aber sehr erklärlich, wenn man bedenkt, daß die verschiedenen Felsmassen, in welchen die Schachte angelegt sind, nicht gleich gute Wärmeleiter sind, daß es nicht gleichgültig sein kann, ob man von der Höhe eines Berges, von der Sohle eines Thales oder von der Ebene aus niedergeht, daß die Tagwasser, welche in den Boden einsinken, mehr oder weniger störend auf die Regelmäßigkeit der Wärmezunahme einwirken müssen.

Wie in Schachten, so beobachtet man auch in Bohrlöchern eine mit der Tiefe stets wachsende Temperatur. Magnus fand z. B. in einem Bohrloch bei Rüdersdorf in der Mark Brandenburg, welches bis zu 730 Fuß unter dem Meeresspiegel hinabreicht, folgende Temperaturen:

10,625° C	in	einer	Tiefe	von	60′
11,875	»	»	»	»	200
14,212	»	»	»	»	400
17,250	»	»	»	»	680

In dem Bohrloche des artesischen Brunnens zu Grenelle bei Paris fand man in einer Tiefe von 1650 Fuß die Temperatur von 27,7° C., in dem zu Neusalzwerk in Westphalen in einer Tiefe von 2050 Fuß eine Temperatur von 32,75° C.

Im Durchschnitt entspricht ein Tiefergehen von 90 bis 100 Fuß einer Temperaturerhöhung von 1° C. Vorausgesetzt, daß bei weiterem Eindringen in die Erdrinde die Temperatur nach dem gleichen Gesetze zunähme, müßte man bereits in einer Tiefe von 10000 Fuß die Temperatur des siedenden Wassers finden, und in einer Tiefe von ungefähr fünf geographischen Meilen müßte eine Hitze herrschen, bei welcher Gußeisen und Basalt flüssig sind.

Alle in diesem Paragraphen besprochenen Thatsachen deuten somit darauf hin, daß sich das Innere der Erde in feurig-flüssigem Zustande befinde. Dieser glühende Erdkern wird von einer erstarrten Hülle von verhältnißmäßig geringer Dicke, der festen Erdrinde, eingeschlossen, deren Leitungsfähigkeit so gering ist, daß die eigene Wärme des Erdkörpers auf der Oberfläche derselben nicht mehr merklich und sein Inneres vor fernerer Erkaltung geschützt ist.

Nur bei vulcanischen Ausbrüchen und in heißen Quellen dringt die innere Erdwärme noch bis zur Oberfläche der Erde hervor.

Der Umstand, daß die Erde eine ihrer Umdrehungsgeschwindigkeit entsprechende Abplattung hat (siehe Seite 56 §. 21), beweist, daß früher der ganze Erdkörper im flüssigen Zustande war, und aus geologischen Untersuchungen geht hervor, daß dies nur ein feurig-flüssiger Zustand gewesen sein könne. Allmälig erstarrte die Oberfläche, aber noch lange war die innere Wärme der Erde auf ihrer Oberfläche merklich, wie schon aus dem Umstande hervorgeht, daß man bis in den hohen Norden versteinerte Palmstämme findet, daß also früher in jenen Gegenden eine tropische Vegetation einheimisch war, wo gegenwärtig nur noch ein spärlicher Pflanzenwuchs möglich ist. Gegenwärtig nun ist die schlecht

leitende feste Erdrinde so dick, daß keine merkliche Erkaltung des Erdkernes mehr stattfinden kann, und daß Gleichgewicht stattfindet zwischen der Wärmemenge, welche die Erdoberfläche von der Sonne empfängt, und derjenigen, welche sie wieder gegen den Himmelsraum ausstrahlt.

Quellentemperatur. Das als Regen, Schnee, Thau u. s. w. aus der 144
Atmosphäre auf den Boden gelangende Wasser kehrt theilweise durch Verdunstung wieder in die Luft zurück, theilweise wird es durch den Vegetationsproceß consumirt, ein sehr bedeutender Theil aber sickert in den Boden ein, um an tieferen Stellen als Quellen hervorzubrechen. Das Wasser sickert in einem lockereren Boden nieder, bis es auf eine Lehm- oder Felsenschicht gelangt, die ein weiteres Vordringen hindert; entweder wird es nun auf diesen mehr oder weniger geneigten Schichten fortfließen, bis es am Ausgange derselben als Quelle erscheint, oder es folgt den Felsspalten und Klüften, auf welchen es endlich auch wieder einen Ausweg findet. Jedenfalls nimmt das Wasser allmälig die wenig veränderliche Temperatur der Erd- und Felsschichten an, mit denen es längere Zeit in Berührung steht, und so kommt es denn, daß die Temperatur der Quellen fast das ganze Jahr hindurch ziemlich constant bleibt, wenigstens wenn sie einigermaßen wasserreich sind. Die Temperaturschwankungen solcher Quellen betragen im Laufe eines Jahres höchstens 1 bis 2 Grad; ihre höchste Temperatur erreichen sie auf unserer Hemisphäre im September, ihre niedrigste im März.

Die mittlere Temperatur dieser Quellen ist, wie die der Erdschichten, aus welchen sie kommen, meist wenig von der mittleren Lufttemperatur des Ortes verschieden, an welchem sie hervorbrechen; in der Regel ist die Quellentemperatur etwas höher, und dieser Ueberschuß steigt in höheren Breiten, wie Wahlenberg gezeigt hat, auf 3° bis 4°; dagegen machen es die Beobachtungen, welche in der heißen Zone gemacht wurden, wahrscheinlich, daß dort die mittlere Quellentemperatur etwas niedriger ist als die mittlere Lufttemperatur.

Es ist demnach klar, daß die Wärme der Quellen nicht allein nach den Polen hin, sondern auch mit der Erhebung über die Meeresfläche abnimmt, wie auch die folgenden Beispiele darthun.

Quelle zu:	Höhe über dem Meeresspiegel.	Temperatur.
Enontekis (Lappland)	1602 par. Fuß	1,7° C.
Umea (Schweden)	100 » »	2,9
München	1540 » »	9
Krün (Isarthal)	2520 » »	7,5
Rigi Kaltbad	4404 » »	6,3
Erste Isarquelle	5726 » »	3,4
Hochthor (Paß zwischen Möll- und Rauristhal) . .	8128 » »	1,9
Im Stollen der Goldzeche (Bergwerk auf der großen Fleuß im Möllthale)	8858 » »	0,8

Die hier zusammengestellten Quellentemperaturen sind theils von Wahlenberg, theils von Schlagintweit beobachtet (Pogg. Annal. LXXVII).

Wenn das Wasser bis zu größeren Tiefen unter die Erdoberfläche eindringt und dann auf Canäle trifft, in welchen es durch den hydrostatischen Druck wieder in die Höhe gehoben wird, so wird es aus der Tiefe auch eine sehr hohe Temperatur mitbringen, wie man sie in der That auch an solchen Quellen beobachtet, welche mit dem Namen der Thermen bezeichnet werden. In der folgenden Tabelle sind die Temperaturen einiger bekannteren Thermalquellen angegeben.

Pfäffers	37,2° C.	Baden-Baden	67,5° C.
Wildbad	37,5	Wiesbaden	70,0
Barrèges	40,0	Karlsbad	75,0
Aachen	44—57,5	Burtscheid	77,5
Bath	46,25	Katharinenquellen im Kaukasus	88,7
Leuck	50,2	Trincheros in Venezuela .	97
Aix in Savoyen .	54,3		
Ems	56,25.		

Solche Quellen sind eine unwiderlegliches Zeugniß für die höhere Temperatur, welche im Inneren des Erdkörpers herrscht.

145 **Die periodischen Springquellen Islands.** Ganz besonders merkwürdige Erscheinungen bieten manche der zahlreichen heißen Quellen Islands dar. Die ganze Insel ist vulcanischen Ursprungs. Unabsehbare Schneefelder decken die Kuppen der isländischen Gebirge, von denen sich gewaltige, meilenbreite Gletscher herabsenken. Ungeheure Wassermassen brechen aus den Spalten und Gewölben dieser Gletscher hervor oder stürzen sich in Cascaden von den Eiswänden herab. Trifft nun das abziehende Wasser auf vulcanische Klüfte und Spalten, so wird es durch dieselben jenen Tiefen zugeführt, wo unter dem Einfluß der vulcanischen Bodenwärme eine Erhitzung und Dampfbildung erfolgt. Das Wasser, durch die vereinigte Kraft der Dämpfe und des hydrostatischen Druckes gehoben, bricht alsdann in mächtigen Thermen hervor.

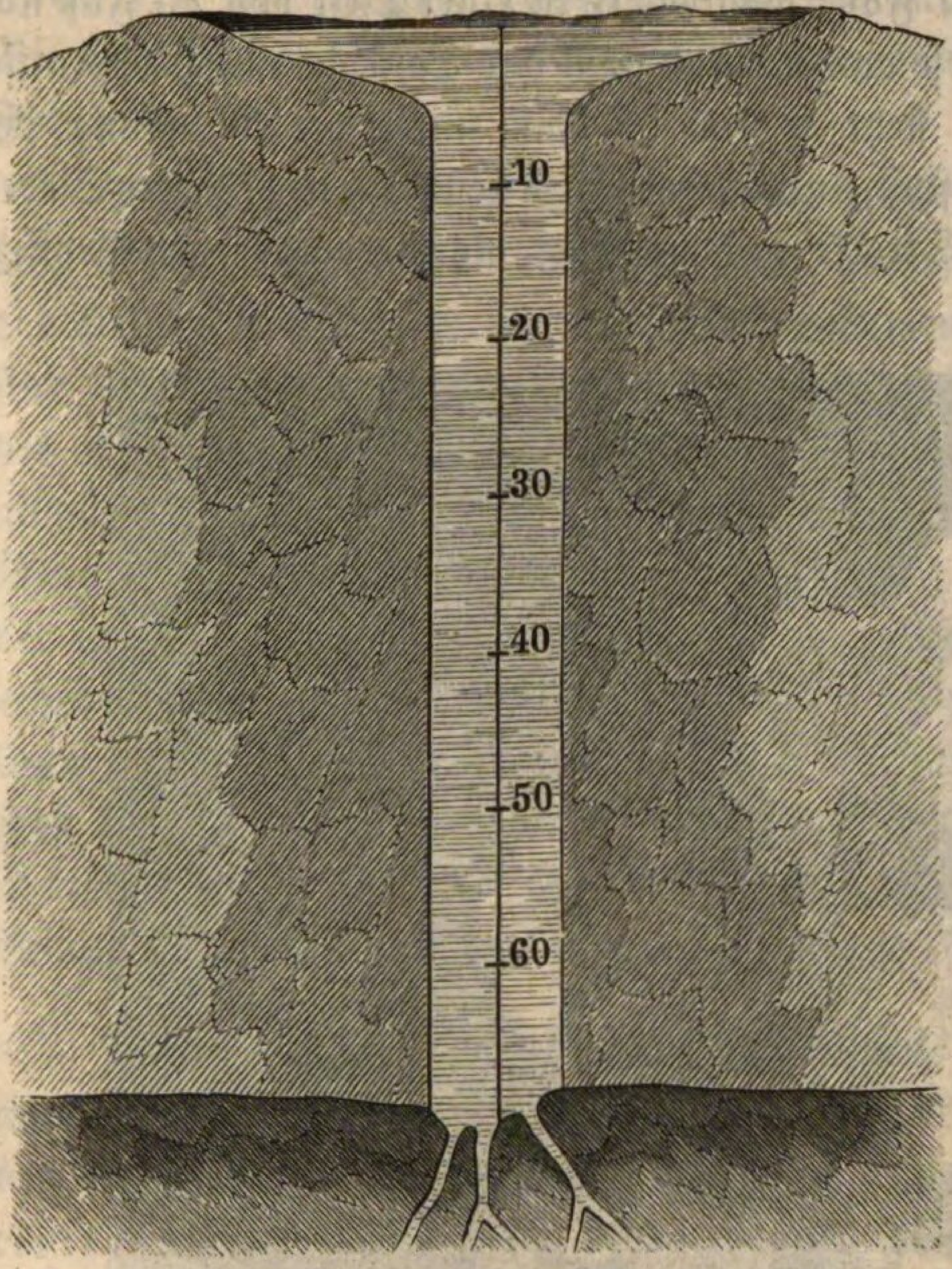
Die isländischen Mineralquellen zeichnen sich durch einen großen Gehalt an Kieselerde aus; sie zerfallen in saure und alkalische Kieselerdequellen, und die letzteren sind es, deren großartige und eigenthümliche Erscheinungen wir hier näher betrachten wollen.

Die äußerst schwach alkalische Reaction dieser Quellen rührt von Schwefelalkalien, sowie von schwefelsaurem Kali und Natron her, welche der Kieselerde zum Lösungsmittel dienen und die für diese Quellen so charakteristischen Bildungen von Kieseltuff bedingen.

Die ausgezeichnetste unter den periodischen Springquellen Islands ist ohne Zweifel der große Geysir. Auf dem Gipfel eines aschgrauen aus Kieseltuff gebildeten Kegels befindet sich ein flaches Becken von 48 Fuß Durchmesser, in dessen Mitte sich ein Rohr von 9 bis 10 Fuß Durchmesser bis in eine Tiefe von 70 Fuß vertical hinabsenkt.

Fig. 194 stellt einen verticalen Durchschnitt des Geysirrohres dar. Der Maßstab in der Mitte stellt die Tiefe unter dem Spiegel des Beckens, in Fußen ausgedrückt, dar.

Fig. 194.



Unter den gewöhnlichen Verhältnissen ist das Becken mit krystallklarem, seegrünem Wasser gefüllt, welches in kleinen Abflußrinnen auf der Ostseite des Kegels abfließt.

Von Zeit zu Zeit läßt sich ein unterirdisches Donnern hören, das Wasser im Becken schwillt an und große Dampfblasen steigen auf, welche an der Oberfläche zerplatzen und das siedende Wasser einige Fuß hoch in die Höhe werfen.

Darauf wird es wieder still. In regelmäßigen Zwischenräumen von 80 bis 90 Minuten wiederholt sich dieselbe Erscheinung, bis endlich eine großartige Eruption erfolgt. Das Wasser im Bassin schwillt höher an, und nach wenigen Augenblicken schießt ein Wasserstrahl, in feinen, blendend weißen Staub gelöst, senkrecht bis zu einer Höhe von 80 bis 100 Fuß in die Luft; der ersten folgt eine zweite, eine dritte noch höher aufsteigende Wassersäule nach. Ungeheure Dampfwolken wälzen sich über einander und verhüllen zum Theil die Wassergarbe. Kaum ist der letzte, alle vorhergehenden an Höhe übertreffende, manchmal Steine aus der Tiefe mit emporschleudernde Wasserstrahl in die Höhe geschossen, so stürzt die ganze Erscheinung, nachdem sie nur wenige Minuten gedauert hatte, in sich zusammen, und nun liegt das vorher ganz mit Wasser gefüllte Bassin trocken vor den Augen des herannahenden Beobachters, der in dem Rohre, erst 6 Fuß unter dem Rande, das Wasser ruhig und still erblickt.

Allmälig fängt das Wasser im Rohre wieder an zu steigen, und nach einigen Stunden ist es wieder bis zum Ueberlaufen gefüllt. Die Detonationen stellen sich aber erst 4 bis 6 Stunden nach der Entleerung des Beckens wieder ein, und nehmen alsdann ihren regelmäßigen Verlauf bis zur nächsten großen Eruption, welche oft mehr als einen Tag auf sich warten läßt.

Fig. 195 (a. f. S.) stellt eine Eruption des großen Geysirs dar. Sie ist nach einem naturgetreuen Oelgemälde copirt, welches Bunsen von seiner isländischen Expedition mitbrachte.

Einige hundert Schritte südwestlich vom großen Geysir liegt eine zweite

periodische Springquelle, welche der Strokkr (das Butterfaß) genannt wird. Der Strokkr hat keinen Eruptionskegel von Kieseltuff; sein Rohr ist trichterförmig und hat oben einen Durchmesser von 7 Fuß, während es in einer Tiefe von 25 Fuß nur noch 9 Zoll weit ist. In einer Tiefe von 40 Fuß stößt das Senkblei auf Hindernisse.

Das Wasser des Strokkr steht 9 bis 12 Fuß unter der Mündung des Trichters; es hat also keinen Abfluß und ist in einem beständigen heftigen Sieden begriffen. Die Eruptionen des Strokkr sind häufiger als die des großen Geysirs,

Fig. 195.



während die jedesmal geförderte Wassermasse ungleich geringer ist. Durch die Ausbrüche des Strokkr werden stoßweise nach einander mehrere in den feinsten Staub aufgelöste Wasserstrahlen bis zu einer Höhe von 120 bis 150 Fuß in die Höhe geschleudert, bis nach einigen Minuten kleinere Strahlen das Schauspiel beschließen.

Ganz in der Nähe des großen Geysirs und des Strokkr liegen noch gegen vierzig heiße Quellen, welche zum Theil gleichfalls periodische Stoßquellen sind, theils tiefe mit ruhigem, dunkelgrünem, heißem Wasser angefüllte Bassins bilden. Die bedeutendste unter den kleineren Springquellen spritzt ihr Wasser 20 bis 30 Fuß hoch.

Der Litli Geysir (kleine Geysir) gehört einer anderen Thermengruppe an, welche acht Meilen südwestlich vom großen Geyser liegt. Die Eruptionen des kleinen Geysers, welche in Zwischenräumen von $3^3/_4$ Stunden stattfinden, sind nicht durch ein stoßweises, auf eine kurze Zeitdauer beschränktes Hervorbrechen des siedenden Wassers charakterisirt. Ihre Annäherung giebt sich durch eine allmälig zunehmende Dampfentwickelung und durch ein unterirdisches plätscherndes Geräusch zu erkennen. Dann dringt kochender Wasserschaum hervor, der in langsamen Perioden steigend und fallend sich immer höher und höher erhebt, bis er nach etwa zehn Minuten, wo die Erscheinung ihre größte Entwickelung erreicht hat, in vertical und seitlich aufspritzenden Garben gegen 30 bis 40 Fuß hoch emporsteigt. Dann nehmen die Strahlen an Umfang und Höhe in ähnlicher Weise ab, wie sie sich erhoben, bis die Quelle nach abermals zehn Minuten zu ihrer vorigen Ruhe zurückgekehrt ist.

Erklärung des Geysirphänomens. Schon Lottin und Robert, 146
welche im Jahre 1836 Island besuchten, haben gefunden, daß die Temperatur der Geysircolonne von oben nach unten zunimmt. — Bunsen und Descloizeaux, welche im Jahre 1846 mehrere Monate in Island zubrachten, haben durch zahlreiche Messungen die Temperaturverhältnisse des großen Geysirs auf das Genaueste ermittelt, und dadurch den Grund zu der schönen Theorie der Geysir-Eruptionen gelegt, durch welche Bunsen die Wissenschaft bereichert hat.

An der Oberfläche ist die Temperatur des Wassers im Geysirbecken ziemlich veränderlich und von den Witterungsverhältnissen abhängig; im Mittel beträgt sie 85° C.

Innerhalb des Geyserrohres steigt die Temperatur, kleine Störungen abgerechnet, an jedem Punkte der Säule fortwährend von einer Eruption bis zur nächsten, wie man aus folgender Tabelle ersehen kann, welche die Resultate einer Beobachtungsreihe enthält.

Höhe über dem Boden.	23 Stunden vor einer großen Eruption.	5½ Stunden vor einer großen Eruption.	10 Minuten vor einer großen Eruption.	Siedpunkt für den jedesmaligen Druck.
1 Fuß	123,6° C.	127,5° C.	126,5° C.	136,0° C.
30 »	113,0	120,4	121,8	124,2
44 »	85,8	106,4	110,0	117,4
60 »	82,6	85,2	84,7	107,0

Von unten her tritt also durch Canäle, deren Verlauf man nicht weiter verfolgen kann, das weit über 100° erhitzte Wasser langsam in das Geysirrohr ein, während an der Oberfläche des Beckens eine fortwährende Abkühlung stattfindet. Eine Folge davon ist, daß das heiße Wasser in der Mitte des Rohres aufsteigt, sich an der Oberfläche des Beckens gegen den Rand hin verbreitet und sich dann abgekühlt an dem Boden des Bassins nach der Röhre zurückfließt.

Aus der Betrachtung der obigen Tabelle ersieht man nun, daß das Wasser an keiner Stelle und zu keiner Zeit eine so hohe Temperatur hat, wie sie erforderlich wäre, damit das Wasser bei dem auf ihr lastenden Drucke ins Kochen gerathen könnte.

Einen Fuß über dem Boden z. B. hat das Wasser außer dem Druck der Atmosphäre noch eine Wassersäule von 69 Fuß zu tragen; bei diesem Druck aber müßte es bis auf 136° erhitzt werden, wenn das Kochen beginnen sollte, während seine Temperatur hier 10 Minuten vor der großen Eruption nur 126,5°, also 9,5° unter dem entsprechenden Siedpunkte war.

In einer Tiefe von 40 Fuß, also 30 Fuß über dem Boden, wurde kurz vor einer großen Eruption die Temperatur des Wassers gleich 121,8°, also nur 2,4° niedriger gefunden als der Siedpunkt (124,2°), welcher dem auf dieser Stelle lastenden Druck entspricht.

Obgleich nun die Temperatur des Wassers im Geysirrohre im Allgemeinen nicht den dem Druck entsprechenden Siedpunkt erreicht, so können doch von Zeit zu Zeit einzelne Wasserpartien noch heiß genug in höheren Schichten ankommen, um Dampfblasen zu bilden, die aber bei fernerem Aufsteigen in die kälteren Schichten alsbald wieder verdichtet werden. Auf diese Weise entstehen dann die unterirdischen Detonationen und die Anschwellungen des Wassers im Geysirrohre, welche im vorigen Paragraphen erwähnt wurden.

Durch eine Bildung von Dampfblasen wird aber die Wärme gebunden, die Temperatur der Wasserschichten, aus welchen die Dampfblase sich entwickelt, wird so weit erniedrigt, daß einige Zeit vergeht, bevor eine neue Blasenbildung erfolgen kann. Deshalb folgt auf jede mit einer Aufwallung im Becken begleitete Detonation eine Zeit der Ruhe.

Allmälig nimmt aber die Temperatur des Wassers an allen Stellen des Geysirrohres zu, die Dampfblasen werden größer und mächtiger, so daß sie theilweise noch die Oberfläche des Wassers erreichen. Endlich aber werden die Dampfblasen mächtig genug, um eine bedeutende Wassermasse aus dem Geysirrohre hinauszuschleudern, und dies ist dann der erste Anstoß zu einer großen Eruption. Indem nämlich durch solche Dampfblasen ein Theil der Wassersäule aus dem Rohre hinaus geschleudert wird, wird der Druck, welcher auf den tieferen Schichten lastet, so weit vermindert, daß auf einmal eine so massenhafte Dampfentwickelung stattfindet, wie sie nothwendig ist, um die Eruptionen zu bewirken, die wir oben kennen lernten.

Wenn z. B. eine mächtige Dampfblase so viel Wasser aus dem Rohre hinaustreibt, daß die auf den tieferen Schichten lastende Wassersäule dadurch um 5 bis 6 Fuß verkürzt wird, so wird der Druck, welcher auf der 30 Fuß über

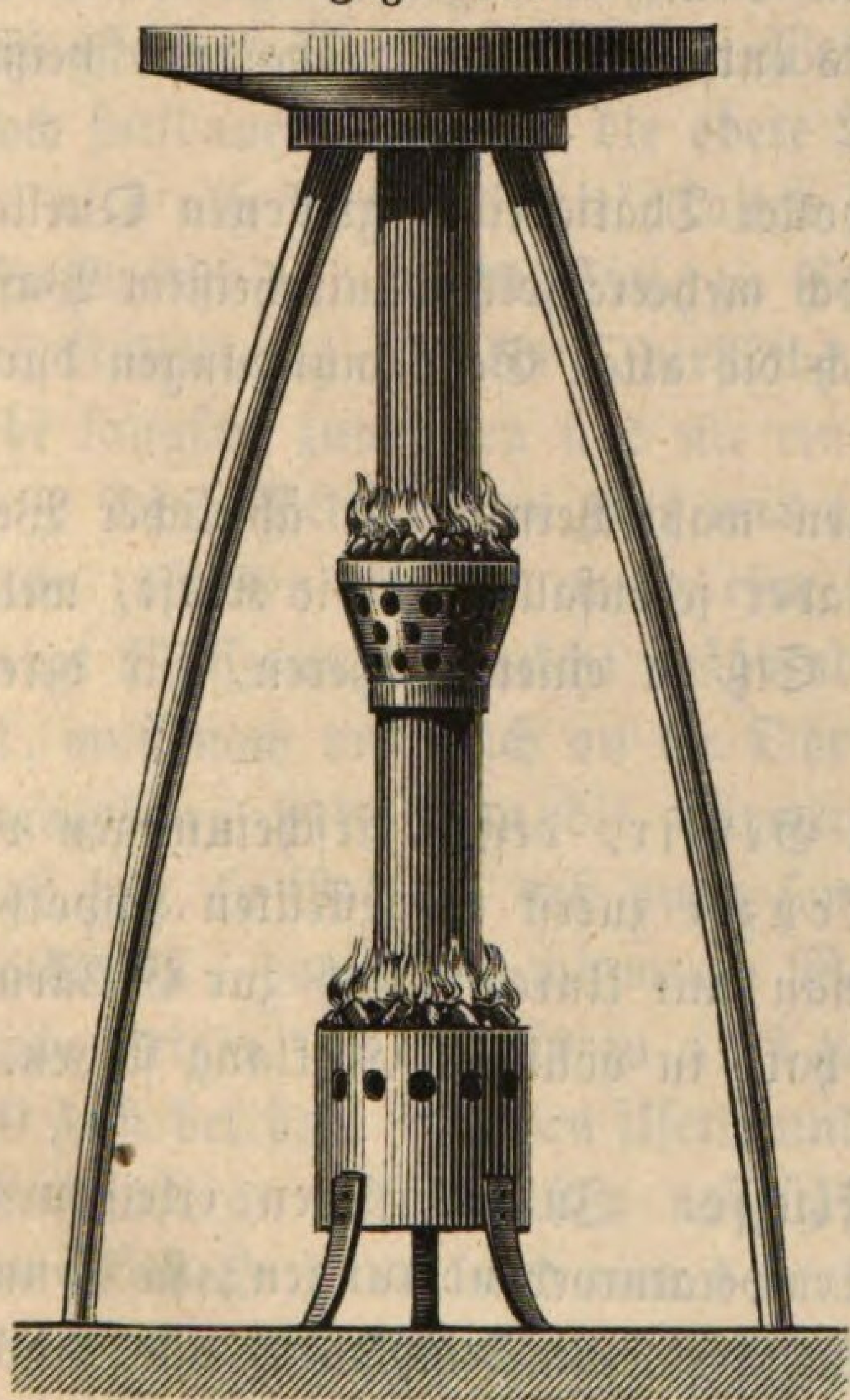
dem Boden sich befindenden Wasserschicht lastet, so weit vermindert, daß dieselbe schon bei einer Temperatur von ungefähr 120⁰ ins Kochen gerathen kann. Da nun aber an dieser Stelle das Wasser, wie wir oben gesehen haben, die Temperatur von 121,8⁰ hat, so ist klar, daß nun hier eine so mächtige Dampfentwickelung stattfinden muß, daß von Neuem ungeheure Wassermassen aus dem Rohre in die Höhe geschleudert werden. Dadurch werden aber auch die nächsttieferen Schichten ins Kochen gebracht, welche noch größere Wassermassen in die Höhe treiben, bis endlich die im Rohre aufgespart gewesene Wärme so weit consumirt ist, daß keine weitere Dampfbildung mehr stattfinden kann.

Nur theilweise fällt das abgekühlte Wasser in das Bassin herab, ohne es jedoch ausfüllen zu können. Die ganze Wassersäule ist jetzt so stark abgekühlt, daß erst nach 4 bis 5 Stunden die erwähnten Detonationen wieder eintreten können.

Der Sitz der Kraft, welcher die in kochenden Schaum verwandelte Wassermasse emporschleudert, ist also in dem Geysirrohre selbst und nicht, wie man früher glaubte, in unterirdischen Dampfkesseln zu suchen, welche abwechselnd bald mit Wasser, bald mit Dampf gefüllt sein sollten.

Wenn Bunsen's Erklärung der Geysir-Eruptionen die wahre ist, wenn er die Bedingungen des Phänomens richtig erkannt hat, so muß man auch im Stande sein, sie nachzuahmen. Der Apparat, den ich zu diesem Zwecke construirt habe, ist Fig. 196 abgebildet. Eine ungefähr 5 Fuß hohe Blechröhre von 5 Zoll Durchmesser ist unten geschlossen, und endet oben in ein flaches Becken von Blech, welches etwas über 2 Fuß im Durchmesser hat. Ungefähr in der Mitte seiner Höhe ist an diesem Rohre ein von durchlöchertem Blech gebildetes Kohlenbecken befestigt. Der ganze Apparat wird durch einen hölzernen Ring getragen, welcher auf drei Beinen ruht.

Fig. 196.



Das Rohr wird ungefähr bis zu seiner Mündung in das Becken mit Wasser gefüllt, sein unteres Ende in einen mit glühenden Kohlen gefüllten kleinen Ofen gesenkt und auch der mittlere Kohlenbehälter mit glühenden Kohlen gefüllt.

Die Wassermasse zwischen den beiden Kohlenbecken wird nun nach einiger Zeit bis zu der Siedetemperatur erwärmt sein, welche dem auf ihr lastenden Druck entspricht. Beginnt nun an der Stelle des oberen Beckens die Dampfbildung, so werden die ersten Dampfblasen nur ein Aufwallen des Wassers im Becken bewirken, bis endlich, nach einigen solchen, gleichsam vergeblichen Versuchen eine

Eruption erfolgt, welche das siedende Wasser ungefähr 2 Fuß hoch über das Bassin in die Höhe schleudert.

Betrachten wir nun zum Schlusse noch die Bildung des Geysirrohres. Der Quellenboden ist aus Tuff gebildet, welcher durch das heiße Wasser zerlegt wird. Besonders unter dem Einflusse des kohlensauren Natrons und Kalis wird die Kieselerde gelöst, so daß die ursprüngliche Gesteinsmasse in ein Thonlager verwandelt wird, welches von den Kieselincrustationen der Quelle bedeckt ist.

Der Gehalt des Geysirwassers an kohlensaurem Kali und Natron bewirkt, daß es selbst vollständig erkaltet noch klar bleibt und eine Ausscheidung der Kieselerde erst bei vollständiger Verdampfung des Wassers eintritt. Daher kommt es denn, daß das Quellenbassin selbst von Kieselbildungen frei bleiben muß, während seine den Wasserspiegel überragenden Ränder, an denen die durch Capillarität eingesogene Flüssigkeit leicht und schnell verdampft, sich mit einer Kieselkruste überkleiden. Auf diese Weise baut sich das Quellenbassin, indem es sich mit einem Hügel von Kieseltuff umgiebt, zu einer tiefen Röhre aus, die, wenn sie eine gewisse Höhe erreicht hat, alle Bedingungen in sich vereinigt, um die Quelle in einen Geysir, d. h. in eine Springquelle zu verwandeln.

Die Kieseltuffbildungen schreiten aber unaufhörlich fort, bis sie endlich im Laufe der Jahrhunderte eine Höhe erreicht haben, welche der Eruptionsthätigkeit der Quelle ein Ziel setzt, wenn endlich die von unten zugeführte Wärme nicht mehr hinreichend ist, um bei dem erhöhten Druck an irgend einer Stelle des Rohrs eine Dampfbildung zu bewirken. Es entstehen dann große, mit heißem Wasser gefüllte Tuffreservoire.

Etwas oberhalb des gegenwärtig in voller Thätigkeit begriffenen Quellenbezirkes des großen Geysirs, erblickt man noch mehrere solcher mit heißem Wasser gefüllter Behälter, in deren Tiefe man noch die alten Geysirmündungen durchschimmern sieht.

Die Eruptionen des Strokkr kommen wahrscheinlich in ähnlicher Weise zu Stande, wie die des großen Geysirs, aber jedenfalls hat die Kraft, welche das Wasser in die Höhe schleudert, ihren Sitz in einer größeren, für directe Versuche unzugänglichen Tiefe.

Anders verhält es sich mit dem Litli Geysir, dessen Erscheinungen von der Art sind, daß sie mit der von Makenzie zuerst aufgestellten Hypothese unterirdischer Dampfkessel, welche man mit Unrecht auch zur Erklärung der Eruptionen des großen Geysirs benutzt hat, in völligem Einklang stehen.

147 **Temperatur der Seen und Flüsse.** In den Seen erleiden die oberen Wasserschichten ziemlich bedeutende Temperaturveränderungen; sie können im Winter zufrieren, während sie im Sommer oft eine Temperatur von 20 bis 25° erreichen; in der Tiefe findet dies jedoch nicht Statt. Saussure hat in dieser Beziehung die meisten Seen der Schweiz untersucht und die merkwürdige Thatsache bestätigt, daß in großen Tiefen die Temperatur der Seen ungefähr 5° C. beträgt.

Im Sommer wirken zwei Ursachen, um die Temperatur der oberen Wasserschichten zu erhöhen; die warme Luft streicht über den Wasserspiegel hin, und die von der Sonne kommenden Wärmestrahlen werden, indem sie mehr oder weniger tief in das Wasser dringen, von demselben absorbirt. Die erwärmten Schichten mischen sich durch die Wellenbewegung, sie mischen sich aber nicht mit den Gewässern der Tiefe, weil sie wegen ihres geringeren specifischen Gewichtes oben schwimmen und weil selbst die heftigste Wellenbewegung doch nur auf eine geringe Tiefe merklich ist. Im Sommer und im Herbst muß also die Temperatur des Wassers in der Tiefe niedriger sein als an der Oberfläche.

Im Winter erkalten die oberen Wasserschichten, weil sie mit der kalten Luft in Berührung sind und weil sie namentlich in der Nacht ihre Wärme ausstrahlen. Die erkaltende Schicht wird dichter, sie sinkt nieder und mischt sich mit dem wärmeren Wasser der tieferen Schichten; sobald sie sinkt, wird sie durch eine andere ersetzt, welche ebenfalls erkaltet und niedersinkt, u. s. w. Wenn das Wasser kein Dichtigkeitsmaximum hätte, so würden auch im Winter die tiefsten Schichten die kältesten sein, die Oberfläche könnte also nicht eher die Temperatur von 0° annehmen, als bis die ganze Wassermasse bis auf den Boden eben so weit erkaltet wäre, und die Folge davon würde sein, daß die Seen bis auf den Grund zufrieren müßten. Weil das Wasser aber ein Dichtigkeitsmaximum hat, ist der Hergang ein anderer. Sobald die oberen Wasserschichten die Temperatur des Dichtigkeitsmaximums erreicht haben, sinken sie nieder, andere Wassertheilchen treten an ihre Stelle, und so geht es fort, bis die ganze Wassermasse diese Temperatur hat. Wenn nun, sobald dies der Fall ist, die Kälte noch fortdauert, so wird die obere Wasserschicht durch ferneres Erkalten leichter; sie wird also fort und fort erkalten können, ohne niederzusinken; nun nimmt die Temperatur also mit der Tiefe zu bis zu 4,1° C. Aus diesem Grunde findet auch die Eisbildung auf der Oberfläche Statt, die Dicke der Eisschicht kann nur sehr langsam zunehmen und nie eine bedeutende Stärke erlangen.

Diese Betrachtung zeigt uns auch, daß ruhige und sehr tiefe Gewässer nur dann zufrieren können, wenn eine strenge Kälte längere Zeit anhält; denn die ganze Wassermasse, welche während des Sommers über 4,1° erwärmt worden ist, muß nach und nach an die Oberfläche steigen, um da ihren Wärmeüberschuß abzugeben; und wenn die wärmere Wassermasse eine Tiefe von 500 bis 600 Fuß hat, so ist klar, daß unter sonst gleichen Umständen eine weit längere Zeit nöthig ist, damit alle wärmeren Wassertheilchen der Reihe nach auf die Oberfläche steigen, um da bis zu 4,1° zu erkalten, als wenn die Tiefe nur 20 bis 30 Fuß betrüge. An den Ufern und über Bänken von bedeutender Ausdehnung, überhaupt an allen Stellen von geringerer Tiefe kann sich deshalb auch schon eine Eisdecke bilden und eine bedeutende Dicke erlangen, während an den tieferen Stellen die Oberfläche des Wassers vom Eise frei bleibt.

Es ist nun die Frage, bis zu welcher Tiefe die Wärme des Sommers eindringen kann? Bis jetzt hat man darüber nur sehr unvollständige Angaben. Nehmen wir z. B. an, die Sommerwärme wäre nur bis zu einer Tiefe von 500 Fuß merklich, so müßte ein 10,000 Fuß tiefer See eben so leicht zufrieren

wie ein anderer, welcher nur 500 Fuß tief ist; denn bei dem ersteren hat ja alles Wasser, welches mehr als 500 Fuß unter dem Spiegel sich befindet, das ganze Jahr hindurch die Temperatur des Dichtigkeitsmaximums; es kann also auf die Erscheinungen der oberen Wasserschichten in keiner Weise wirken.

Wenn vor dem Gefrieren einmal die ganze Wassermasse eines Sees die Temperatur von 4,1° haben muß, so muß dasselbe nach dem Aufthauen ebenfalls stattfinden, bevor die Temperatur der oberen Wasserschichten über die Temperatur des Dichtigkeitsmaximums steigen kann.

In den Flüssen ist natürlich wegen der beständigen Bewegung, welche die Wasserschichten verschiedener Temperatur fortwährend mischt, die Vertheilung der Wärme weniger regelmäßig als in den Landseen. Das Gefrieren beginnt in der Regel am Ufer; doch beobachtet man auch häufig, daß sich die Eisschollen mitten im Strome bilden und, anfangs ganz klein, bald eine bedeutende Größe erlangen. Eine sehr auffallende Erscheinung ist die Bildung von Grundeis in den Flüssen; diese Eisbildung findet nicht auf der Oberfläche, sondern auf dem Boden Statt; wenn das am Boden gebildete Eis aufsteigt, so hebt es Steine und sonstige Gegenstände vom Boden mit in die Höhe; im Rhein werden oft die Ankerketten der Schiffbrücken durch das Grundeis in die Höhe gebracht.

Die wahrscheinlichste Erklärung des Grundeises hat Arago gegeben; seine Ansicht ist die, daß das Wasser oft unter den Gefrierpunkt erkaltet, ohne fest zu werden, daß die so stark erkalteten Wassertheilchen sogleich gefrieren, wenn sie, durch die Strömung niedergezogen, mit den festen Körpern auf dem Boden in Berührung kommen.

148 **Temperatur der Meere.** Von tüchtigen Reisenden sind die Aequatorialmeere und die Polarmeere befahren worden; überall haben sie über die Temperatur und die damit zusammenhängenden Erscheinungen zahlreiche Reihen von Beobachtungen gemacht, welche für die Wissenschaft von höchstem Interesse sind.

Ueber dem Meere, in großen Entfernungen von den Küsten, sind die täglichen Schwankungen der Lufttemperatur weit geringer als auf dem Lande. Auf dem Aequatorialmeere z. B. beträgt die Differenz des Maximums und des Minimums der Temperatur eines Tages höchstens 1 bis 2°, während sie auf dem Lande 5 bis 6° beträgt; in der gemäßigten Zone, zwischen dem 25 und 50. Breitengrade, ist dieser Unterschied nur 2 bis 3°, während er auf dem Lande sehr groß ist; in Paris beträgt er manchmal 12 bis 15°.

Das Minimum der Temperatur findet auch auf dem Meere kurz vor Sonnenaufgang Statt, die Zeit des Maximums soll aber nach einigen Beobachtern dem Mittage näher liegen als auf den Continenten.

Vergleicht man die Temperatur der Luft, welche auf den Meeren ruht, mit der der oberen Wasserschichten, so ergeben sich folgende Resultate.

In den Tropen ist in der heißesten Tageszeit die Luft wärmer als das Wasser; wenn man aber die Temperatur der Luft und des Wassers von 4 zu 4 Stunden bestimmt, wie es der Capitän Duperrey gethan hat, so ergiebt sich,

daß im Durchschnitt die Temperatur der Luft niedriger ist als die des Wassers. Unter 1850 Beobachtungen, welche er gemacht hat, fand er 1371mal das Meer und nur 479mal die Luft wärmer.

In höheren Breiten, vom 25. bis zum 50. Grade, ist die Luft nur selten, in den Polargegenden fast nie wärmer als die Oberfläche des Meeres.

Gehen wir nun zur Betrachtung der Temperatur des Meeres in verschiedenen Tiefen über.

In den Tropen nimmt die Temperatur der Meere mit der Tiefe ab, in den Polarmeeren dagegen nimmt sie mit der Tiefe zu.

Während in der heißen Zone die Temperatur der Meeresoberfläche 27° C. ist, sinkt dort die Temperatur des Wassers in der Tiefe unter + 4°. Die Beobachtungen, welche am Bord der Venus unter den Befehlen von Du Petit-Thouars gemacht wurden, ergaben für die Temperatur der Tiefe in der heißen und gemäßigten Zone 3,2 bis 2,5°; unter 27° 47′ südl. Br. fand man z. B. im indischen Meere in einer Tiefe von 990 Faden die Temperatur 2,8°, während sie auf der Oberfläche 23,8° war; bei Penedo und S. Pedro, 4° 23′ nördl. Br. und 28° 26′ westlich von Paris, an der Oberfläche 27°, in einer Tiefe von 1130 Faden aber 3,2°; Kotzebue fand in einer Tiefe von 525 Faden unter einer Breite von 32° 11′ die Temperatur des Wassers 2,5°.

Humboldt hat gezeigt, daß die Erkaltung der Meeresoberfläche während der Nacht nicht die Veranlassung der geringen Temperatur der Meerestiefen in den Tropen sein kann und daß sie nur die Folge eines Meeresstromes ist, welcher in der Tiefe die Gewässer der Pole dem Aequator zuführt; deshalb findet man auch in der Tiefe des mittelländischen Meeres, wo diese untere Meeresströmung nicht eindringen kann, keine so niedrigen Temperaturen.

Die Beobachtungen von Mulgrave, Scoresby, Roß und Parry geben das übereinstimmende Resultat, daß in den Polarmeeren die Temperatur in der Tiefe höher ist als an der Oberfläche; in einer Tiefe von 700 Faden steigt die Temperatur des Wassers auf 2 bis 3°, während sie an der Oberfläche nicht über 0° war. Beechey dagegen fand in der Behringsstraße in einer Tiefe von 20 Faden die Temperatur des Wassers — 1,4°, während sie an der Oberfläche + 6,3° betrug; Beechey fand im Allgemeinen die Temperatur der Tiefe niedriger als die der Oberfläche.

Diese Widersprüche lassen sich noch nicht erklären, überhaupt ist man bis jetzt noch nicht im Stande, die Gesetze des Gleichgewichts der Meeresschichten so zu entwickeln, wie es bei dem süßen Wasser der Fall ist, weil die Dichtigkeit des Meerwassers nicht allein von seiner Temperatur, sondern auch von seinem Salzgehalte abhängt.

Durch den Salzgehalt des Wassers wird sowohl sein Gefrierpunkt als auch die Temperatur seines Dichtigkeitsmaximums erniedrigt. Despretz fand für den Gefrierpunkt des Meerwassers (das Wasser, mit welchem er experimentirte, war von Freycinet in der Südsee geschöpft) — 2,55°, für die Temperatur des Dichtigkeitsmaximums aber — 3,67°; das Dichtigkeitsmaximum findet also bei einer Temperatur Statt, welche unter der des Gefrierpunktes liegt, es kann

also nur beobachtet werden, wenn das Wasser bis unter den Gefrierpunkt erkaltet, ohne zu gefrieren. Despretz untersuchte den Gang der Ausdehnung des Meerwassers, indem er Thermometer damit construirte, und diese Versuchsmethode möchte wohl die einzige sein, welche in diesem Falle ein zuverlässiges Resultat geben kann. Für die Physik der Meere kann jedoch dies Resultat keine Anwendung finden, indem wohl schwerlich eine bedeutende Wassermasse ihrer ganzen Ausdehnung nach unter den Gefrierpunkt erkaltet, ohne fest zu werden.

Beim Gefrieren des Meerwassers bildet sich reines Eis, während die Concentration des flüssigbleibenden Theiles zunimmt; die oberen Schichten nehmen also in den kalten Zonen aus zwei Gründen an Dichtigkeit zu, erstens wegen der Temperaturerniedrigung und zweitens wegen der bei der Eisbildung zunehmenden Concentration des Wassers. Da aber die dichter gewordenen Wassertheilchen niedersinken müssen, so ist es noch nicht ganz klar, wie in den Polarmeeren die Temperatur des Wassers in der Tiefe zunehmen kann.

Sollte vielleicht dieselbe Ursache, welche veranlaßt, daß die Temperatur der festen Erdrinde mit wachsender Tiefe immer mehr zunimmt, auch eine Erwärmung des Meeres von seinem Boden aus veranlassen?

Wenn am Boden des Meeres eine solche Erwärmung stattfinden sollte, so könnte das erwärmte Wasser doch nicht bis zur Oberfläche des Meeres steigen, weil es, sich mit den an der Oberfläche erkalteten und niedersinkenden Wassertheilchen mischend, seine höhere Temperatur alsbald verliert.

Die Eisbildung in den Polarmeeren gehört zu den großartigsten Erscheinungen der Natur. Die Eismassen, denen man an den Küsten von Spitzbergen und Grönland begegnet, sind in der Regel 20 bis 25 Fuß dick; sie bilden ungeheure Ebenen, deren Gränzen man oft von den höchsten Masten der Schiffe nicht übersehen kann; es sind dies die sogenannten Eisfelder, deren Oberfläche manchmal 300 bis 400 Quadratmeilen beträgt. Die Oberfläche der Eisfelder ist oft vollkommen eben, oft aber auch uneben und schollig. Manchmal sieht man Erhebungen, gleichsam Säulen von einer Höhe von 20 bis 30 Fuß, welche einen sehr malerischen Anblick darbieten, indem sie bald die schönste bläulichgrüne Farbe zeigen, bald mit einer dicken Schneeschicht überdeckt sind.

Durch den Wellenschlag, vielleicht auch durch andere Ursachen, zerbersten diese Eisberge oft plötzlich und zertheilen sich in Stücke von 1000 bis 2000 Quadratfuß Oberfläche. Diese Stücke werden oft durch einen schnellen Meeresstrom fortgeführt, und wenn sie einem entgegengesetzten Meeresstrome begegnen, welcher die Stücke eines anderen Eisfeldes mit sich führt, so stoßen die Eismassen mit furchtbarem Krachen an einander. Ein Schiff, welches das Unglück hat, zwischen solche Massen zu gerathen, kann der ungeheuren Kraft nicht widerstehen, es wird förmlich zerquetscht. Man hat viele traurige Beispiele, daß Schiffe auf diese Weise zu Grunde gingen.

Wenn die Eismassen zum Theil bei diesem schrecklichen Zusammentreffen zerbersten, wenn sie gleichsam zerbröckelt werden, so nehmen andere an Masse zu und werden noch furchtbarer. Eisstücke, welche durch die Wogen gehoben werden, fallen über die anderen Eisblöcke her, und so entstehen wahre Eisberge,

welche oft 30 bis 40 Fuß über den Wasserspiegel emporragen. Da die Dicke des über das Wasser hervorragenden Theils $1/4$ des untergetauchten beträgt, so sind solche Eisberge im Ganzen 120 bis 160 Fuß hoch.

In der Baffinsbay findet man noch weit höhere Eisberge als in den grönländischen Meeren; sie ragen manchmal 90 bis 120 Fuß hoch über den Meeresspiegel empor und haben also eine Totalhöhe von 450 bis 600 Fuß. Solche auf den Meeren umhertreibende Eisberge stammen ohne Zweifel von mächtigen bis in das Meer vorgeschobenen Gletschern her. Fig. 197 stellt einen schwimmenden Eisberg dar, welchen Parry auf seiner ersten Reise beobachtete. Im Sommer, wenn das Eis durch die Wirkung der Sonnenstrahlen geschmolzen wird, strömt das Wasser in ungeheuren Wasserfällen von dem Kamme solcher Eisgebirge herab. Es ist dies ein majestätisches Schauspiel, welches die Schiffer jedoch nur aus der Ferne betrachten; denn die gigantischen, hoch in die Lüfte ragenden Eiszacken und Bogen bersten plötzlich und stürzen unter ungeheurem Krachen in das Meer herab.

Fig. 197.



Zweites Capitel.

Das Luftmeer, sein Druck und seine Strömungen.

---

149 **Die Lufthülle der Erde.** Die feste, zum Theil mit Wasser bedeckte Erdkugel ist mit einer gasförmigen Hülle umgeben, welche man mit dem Namen der Atmosphäre bezeichnet. Das Gasgemenge, aus welchem die Atmosphäre besteht, nennt man die Luft.

Die Hauptbestandtheile der atmosphärischen Luft sind Sauerstoffgas und Stickgas, deren Gemisch noch verhältnißmäßig geringe Quantitäten von Kohlensäure und Wasserdampf beigemengt sind. In 100 Raumtheilen Luft sind 79 Raumtheile Stickgas und 21 Raumtheile Sauerstoffgas enthalten. Dieses Verhältniß ist fast ganz constant. Der Gehalt an Kohlensäure ist an und für sich sehr gering, unterliegt aber verhältnißmäßig größeren Schwankungen als Sauerstoff und Stickstoff, indem 10,000 Raumtheile Luft zwischen 3,3 und 5,3 Raumtheile Kohlensäure enthalten. Noch veränderlicher ist der Gehalt an Wasserdampf, wovon im folgenden Capitel ausführlicher gehandelt werden soll.

Der Luft kommt, wie dies in der Physik näher nachgewiesen wird, ebenso wie den festen und den tropfbar-flüssigen Körpern die Eigenschaft der Schwere zu. Die Lufttheilchen werden also von der Masse des Erdkörpers angezogen und dadurch auch verhindert, sich von der Erde aus in den Weltraum zu zerstreuen. Durch ihre Schwere wird die Atmosphäre zu einem integrirenden Theile der Erde, sie nimmt Theil sowohl an ihrer jährlichen wie an ihrer täglichen Bewegung.

Der Boden des Luftmeeres, welches wir Atmosphäre nennen, ist der Schauplatz alles organischen Lebens auf der Erde; nur durch Vermittelung der Luft wird das Thier- und Pflanzenleben unterhalten. Die Dichtigkeitsverhältnisse der Luft, ihre Bestandtheile, die Strömungen derselben, ihr Feuchtigkeitsgehalt und die durch denselben bedingten wässerigen Niederschläge, die Verbreitung der Wärme in der Atmosphäre sind also wesentliche Elemente für die Entwickelung der Flora sowohl wie der Fauna eines Landes.

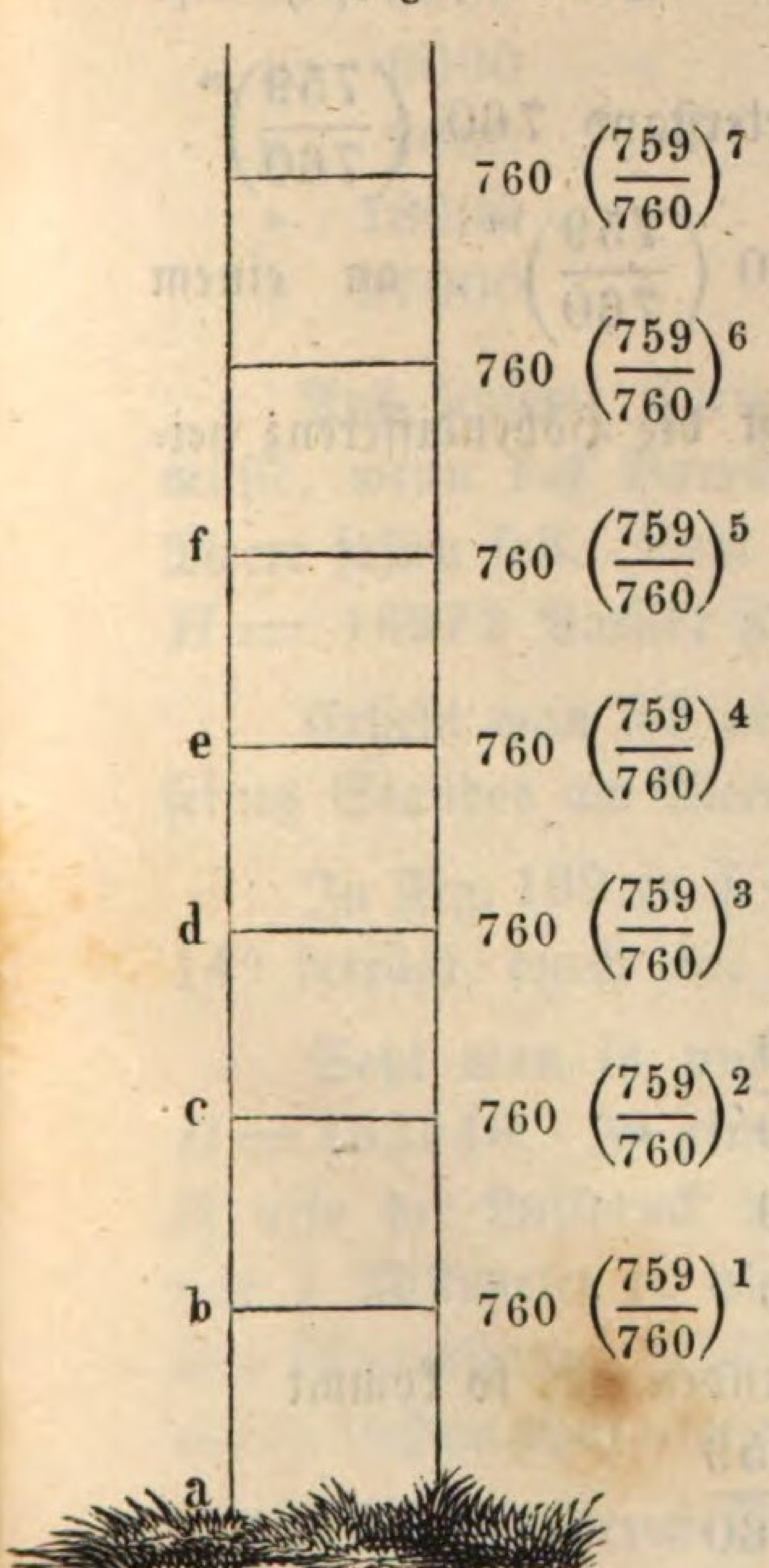
Weil die Luft expansibel ist und das Volumen, welches eine gegebene Luftmenge einnimmt, von dem Drucke abhängt, welchem sie ausgesetzt ist, so ist klar, daß die Atmosphäre nicht überall gleiche Dichtigkeit haben kann, daß dieselbe vielmehr von unten nach oben fortwährend abnehmen muß, weil ja die tieferen Luftschichten einem weit größeren Druck ausgesetzt sind als die höheren.

Daß die tieferen Luftschichten wirklich einen stärkeren Druck auszuhalten haben, das beweisen uns die in verschiedenen Höhen angestellten Barometerbeobachtungen. Am Meeresufer ist die Höhe der Barometersäule im Mittel 760 Millimeter; sobald man sich aber über den Meeresspiegel erhebt, sinkt das Barometer um so mehr, je höher man steigt; zu Potosi, in einer Höhe von 13220 Fuß, ist der mittlere Barometerstand nur noch 471 Millimeter (17,4 Zoll); in jener Höhe ist also der Luftdruck nur noch 0,62 von demjenigen, welcher am Ufer des Meeres stattfindet.

Daß die Luft in der Höhe weniger dicht ist als in der Tiefe, läßt sich gleichfalls durch Barometerversuche darthun. Vom Spiegel des Meeres aus muß man um 10,5 Meter steigen, wenn das Barometer um 1 Millimeter fallen soll; wenn man aber von Potosi aus noch höher steigt, so muß man sich um 16,8 Meter erheben, um ein Sinken des Barometers um 1 Millimeter zu erhalten. Die Dichtigkeit der Luft zu Potosi verhält sich also zu der Dichtigkeit der Luft am Ufer des Meeres wie 10,5 zu 16,8, d. h. im Niveau des Meeres ist die Luft 1,6 mal dichter als zu Potosi, oder mit anderen Worten: die Dichtigkeit der Luft zu Potosi ist nur 0,62 von derjenigen, welche am Ufer des Meeres stattfindet.

Barometrische Höhenmessung. Das Barometer ist dasjenige Instrument, welches uns über die Dichtigkeitsverhältnisse der Luft in verschiedenen Höhen die beste Auskunft geben kann; um aber aus den Barometerbeobachtungen die gewünschten Resultate ziehen zu können, ist es nöthig, erst die Beziehungen kennen zu lernen, welche zwischen der Erhebung über den Meeresspiegel und dem entsprechenden Sinken des Barometers stattfindet. 150

Fig. 198.



Es ist soeben erwähnt worden, daß, wenn an einem Orte der Barometerstand 760 Millimeter beträgt, man um 10,5 Meter steigen müsse, wenn das Barometer um 1 Millimeter, also bis auf 759 Millimeter (oder, was dasselbe ist, auf $760^{759}/_{760}$ Millimeter) fallen solle. Ohne merklichen Fehler können wir annehmen, daß die ganze Luftschicht von 10,5 Meter Höhe überall gleich dicht sei, wir können annehmen, daß sie so dicht sei als am Boden. Es sei *a*, Fig. 198, ein Punkt auf dem Boden, *b* ein 10,5 Meter höher gelegener Punkt, und jeder der folgenden Punkte *c*, *d*, *e* u. s. w. liege immer wieder um 10,5 Meter höher als der nächst tiefere. Da nach dem Mariotte'schen Gesetze die Dichtigkeit der Luft dem

Drucke proportional ist, unter welchem sie sich befindet, so muß die Luftschicht *bc* weniger dicht sein als *ab*, und zwar werden sich die Dichtigkeiten dieser Schichten verhalten wie die Barometerstände in *a* und *b*, d. h. die Dichtigkeit der Schicht *bc* ist $^{759}/_{760}$ von der Dichtigkeit der Schicht *ab*. Wenn man also von *b* nach *c* steigt, so wird das Barometer nicht abermals um 1 Millimeter fallen, sondern nur um $^{759}/_{760}$ Millimeter. Der Barometerstand in *c* ist demnach:

$$760\,\frac{759}{760} - \frac{759}{760} = \frac{759}{760}(760-1) = \frac{759^2}{760} = 760\left(\frac{759}{760}\right)^2 \text{ Millimeter.}$$

Auf diese Weise können wir weiter schließen, daß sich die Dichtigkeiten der Schichten *bc* und *cd* verhalten wie die Barometerstände in *b* und *c*, daß also die Schicht *cd* $^{759}/_{760}$ mal leichter ist als die Schicht *bc*. Wenn also die Luftschicht *bc* einer Quecksilbersäule von $\frac{759}{760}$ Millimetern das Gleichgewicht hält, so kann die Schicht *cd* nur eine Quecksilbersäule von $\frac{759}{760} \times \frac{759}{760} = \left(\frac{759}{760}\right)^2$ Millimeter tragen, und wenn man sich von *c* bis *d* erhebt, so muß das Barometer um $\left(\frac{759}{760}\right)^2$ Millimeter fallen. In *d* ist also der Barometerstand

$$760\left(\frac{759}{760}\right) - \left(\frac{759}{760}\right)^2 = 760\left(\frac{759}{760}\right)^3 \text{ Millimeter.}$$

Dies reicht hin, um das Gesetz zu übersehen: in *e* wird der Barometerstand $760\left(\frac{759}{760}\right)^4$ in *f* $760\left(\frac{759}{760}\right)^5$ sein u. s. w. Wenn man sich also *n* mal 10,5 Meter über *a* erhebt, so ist der Barometerstand $760\left(\frac{759}{760}\right)^n$.

Ist an einem Orte der Barometerstand $B = 760\left(\frac{759}{760}\right)^m$, an einem anderen höher gelegenen $b = 760\left(\frac{759}{760}\right)^n$, so ist die Höhendifferenz beider Orte $(n-m)$ mal 10,5 Meter.

Aus den Gleichungen

$$B = 760\left(\frac{759}{760}\right)^m$$

$$b = 760\left(\frac{759}{760}\right)^n$$

folgt

$$log.\ B = log.\ 760 + m.\ log.\ \frac{759}{760},$$

$$log.\ b = log.\ 760 + n\ \ log.\ \frac{759}{760}.$$

Zieht man die letzte Gleichung von der vorhergehenden ab, so kommt

$$log.\ B - log.\ b = (m-n)\ log.\ \frac{759}{760}$$

und $$log.\ B - log.\ b = (n - m)\ 0{,}0005718$$

$$n - m = \frac{log.\ B - log.\ b}{0{,}0005718}.$$

Da aber die Höhendifferenz H der beiden fraglichen Orte $(n - m)$ 10,5 Meter ist, so haben wir auch

$$H = 10{,}5\ \frac{log.\ B - log.\ b}{0{,}0005718}$$

$$H = 18363\ (log\ B - log.\ b)\quad .\ .\ .\ .\ .\ 1)$$

Diese Formel giebt die Höhendifferenz H zweier Orte in Metern. Will man dieselbe in Pariser Fußen ausgedrückt haben, so hat man die Gleichung

$$H = 56386\ (log.\ B - log.\ b)\quad .\ .\ .\ .\ .\ 2)$$

anzuwenden.

Da der Quotient $\frac{B}{b}$ und folglich auch die Differenz $log.\ B - log.\ b$ unverändert bleibt, mit welcher Einheit auch die Barometerstände B und b gemessen sein mögen, so kann man nach Belieben, sowohl in Gleichung 1) als auch in Gleichung 2) die Barometerstände B und b in Millimetern oder in Pariser Linien oder in irgend einem anderen Maße ausdrücken.

Nach dieser Formel ist der mittlere Barometerstand einer Höhe

von	1500	Pariser	Fuß	über	dem	Meere	715^{mm}	oder	26″	5‴	Par. M.
»	3000	»	»	»	»	»	673	»	24	10	»
»	6000	»	»	»	»	»	595	»	22	0	»
»	9000	»	»	»	»	»	527	»	19	6	»
»	18000	»	»	»	»	»	365	»	13	6	»
»	27000	»	»	»	»	»	252	»	8	5	»

Aus unserer Formel ergiebt sich nun auch leicht, wie hoch man steigen müsse, wenn das Barometer auf die Hälfte des normalen Barometerstandes am Meere fallen soll. Setzt man $B = 760$, $b = 380$, so folgt aus Gleichung 2) $H = 16972$ Pariser Fuß.

Erhebt man sich abermals um 16972 Fuß, so muß das Barometer auf $1/4$ seines Standes am Meere fallen u. s. w.

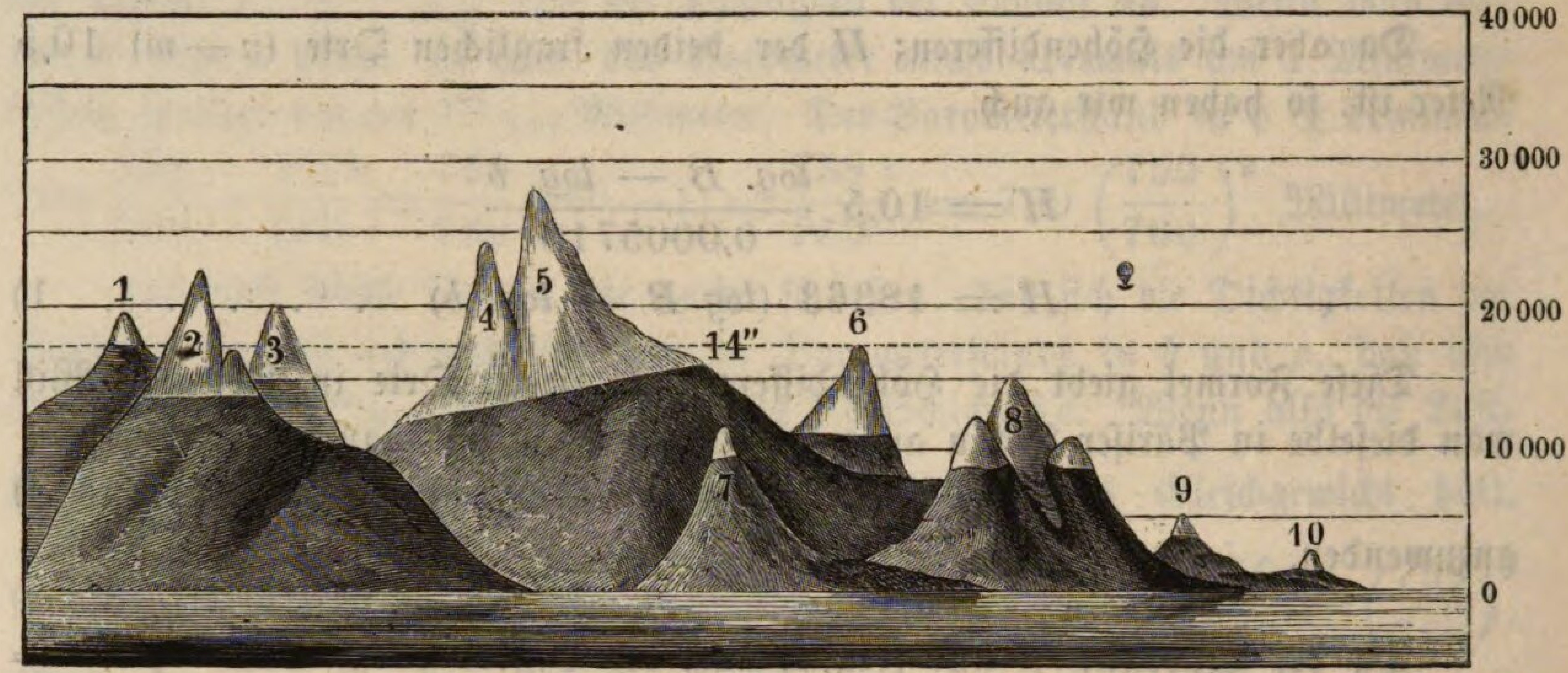
In Fig. 199 (a. f. S.) ist die Höhe, für welche der mittlere Barometerstand 14″ beträgt, durch eine punktirte Horizontallinie bezeichnet.

Setzt man in unserer Gleichung 2) $B = 760$ und $b = 1$, so folgt $H = 162448$. In einer Höhe von 160000 Fuß, nahe 8 geographische Meilen, ist also der Luftdruck bereits so gering, daß er nur noch eine Quecksilbersäule von 1 Millimeter zu tragen im Stande ist, in einer Höhe von 8 Meilen über dem Meeresspiegel ist also die Luft schon so verdünnt, wie wir es kaum mit den besten Luftpumpen erreichen können.

In den unteren Schichten der Atmosphäre wiegen ungefähr 113 Cubikfuß

Luft 1 Pfund, eben so viel wiegen in einer Höhe von 8 Meilen erst 8600 Cubikfuß Luft.

Fig. 199.



151 **Höhe der Atmosphäre.** So nimmt denn die Dichtigkeit der Luft mit zunehmender Erhebung über den Boden fortwährend ab, bis sie allmälig unmerklich wird und selbst auf die empfindlichsten physikalischen Instrumente nicht mehr zu wirken vermag. Was von Luft über die Höhe von 10 bis 12 geographischen Meilen hinausgeht, ist jedenfalls ein verschwindend kleiner Bruchtheil der übrigen Atmosphäre, und deshalb nimmt man in der Regel an, daß die Atmosphäre eine Höhe von 10 bis 12 geographischen Meilen habe.

Eben weil die Luft expansibel ist, kann sie nicht eine scharfe obere Gränze haben wie die Gewässer, welche die Erdoberfläche bedecken. Es findet eben in den höheren Luftregionen ein allmäliger Uebergang zur unendlichen Verdünnung Statt, und deshalb ist auch die Höhe der Atmosphäre keine absolut gegebene und präcis bestimmbare; man kann höchstens sagen, in welcher Höhe die Dichtigkeit der Luft unmerklich wird.

Nehmen wir in diesem Sinne die Höhe der Atmosphäre zu 10 bis 12 geographischen Meilen an, so sehen wir, daß diese Höhe sehr gering ist im Vergleich zum Durchmesser der Erde, welcher nahe 1700 geographische Meilen beträgt. Um sich ein klares Bild von dem Verhältniß der Erdkugel zu ihrer Atmosphäre zu machen, denke man sich eine Kugel von 1 Fuß Durchmesser, welche von einer nicht ganz 1 Linie dicken luftigen Hülle umgeben ist.

Aber weit unter der angegebenen Gränze verschwindet die letzte Spur des organischen Lebens, welches weder eine solche Luftverdünnung, noch eine so niedrige Temperatur ertragen kann, wie sie in jenen Höhen herrscht, und welches schwerlich bis auf die Gipfel der höchsten Berge hinaufsteigt.

152 **Tägliche Variationen des Barometers.** Der Luftdruck ist selbst an einem und demselben Orte eine sehr veränderliche Größe, welche fortwährenden Schwankungen unterworfen ist. Wenn man in unseren Gegenden einige Zeit lang mehrmals täglich das Barometer beobachtet, so sind die oft sehr be-

deutenden Schwankungen so unregelmäßig, daß man auf den ersten Anblick durchaus keine periodischen Veränderungen wahrnehmen kann, während selbst aus ganz rohen Beobachtungen des Thermometers sich alsbald sowohl eine tägliche als eine jährliche Periode im Gange der Temperatur nachweisen läßt.

Um entscheiden zu können, ob mitten in den beständig stattfindenden zufälligen Schwankungen des Barometers sich nicht auch ein periodisches Steigen und Fallen geltend macht, muß man die Mittelzahlen einer großen Reihe von Barometerbeobachtungen mit einander vergleichen, welche regelmäßig zu bestimmten Stunden des Tages angestellt worden sind. Wenn man einen Monat lang das Barometer an mehreren bestimmten Stunden des Tages beobachtet und das Mittel aus allen zu derselben Stunde gemachten Beobachtungen nimmt, so reicht dies hin, um die Existenz einer täglichen Periode der Barometerschwankungen auch für unsere Gegenden zu beweisen. Die Tabelle auf Seite 358 enthält die Resultate einer 20jährigen von Bouvard auf der Sternwarte zu Paris angestellten Reihe von Barometerbeobachtungen; sie giebt die auf 0° reducirten Barometerstände in Millimetern an. Die Beobachtungsstunden waren 9 Uhr Morgens, 12 Uhr Mittags, 3 Uhr Nachmittags und 9 Uhr Abends.

Die erste Columne dieser Tabelle enthält die Angabe der Beobachtungsjahre; dann folgt die Angabe des in jedem Jahre beobachteten höchsten und tiefsten Barometerstandes. Die für eine jede Beobachtungsstunde angegebenen Zahlen sind das Mittel aus allen zu dieser Stunde im Laufe eines Jahres gemachten Beobachtungen; so ist z. B. 754,389 das Mittel aus allen im Laufe des Jahres 1819 um 3 Uhr Nachmittags beobachteten Barometerständen.

Man sieht aus dieser Tabelle, daß die für die verschiedenen Beobachtungsstunden gefundenen jährlichen Mittel ungleich sind; sie haben durchgängig den höchsten Werth für 9 Uhr Morgens, den niedrigsten um 3 Uhr Nachmittags; es spricht sich darin entschieden ein periodisches Sinken und Steigen aus; die nicht periodischen Schwankungen unberücksichtigt gelassen, sinkt demnach das Barometer ungefähr von 9 Uhr Morgens bis 3 Uhr Nachmittags, um dann wieder zu steigen. Um 9 Uhr Morgens steht das Barometer im Durchschnitt um 0,775 Millimeter höher als um 3 Uhr Nachmittags.

Die Amplitude der periodischen Schwankungen ist dieser Tabelle zufolge sehr gering im Vergleich zu den unregelmäßigen nicht periodischen Schwankungen; denn im Durchschnitt ist der höchste Barometerstand im Laufe eines Jahres 773,5 Millimeter, der niedrigste 731 Millimeter, ihre Differenz also 42,5 Millimeter, während die Differenz des täglichen Maximums und Minimums nur 0,775 Millimeter beträgt.

Um den Gang der täglichen Barometerschwankungen gehörig verfolgen zu können, muß eine Zeitlang wenigstens bei Tage stündlich das Barometer beobachtet werden. Die meisten Beobachtungsreihen dieser Art sind jedoch des Nachts nicht fortgesetzt; man kann aber mit ziemlicher Sicherheit aus den am Tage gemachten Beobachtungen auf den Gang des Barometers in der Nacht schließen.

Die Tabelle auf Seite 359 enthält die Resultate solcher Beobachtungsreihen, welche an verschiedenen Orten angestellt wurden.

Jahr.	Höchster Stand.		Tiefster Stand.		Mittlere Barometerstände.				
	H. St.	Tag. Monat.	T. St.	Tag. Monat.	9 Uhr.	12 Uhr.	3 Uhr.	9 Uhr.	Mittel.
1819	770,89	1. Jan.	738,00	1. März.	755,104	754,863	754,389	754,789	754,786
1820	772,60	9. »	726,33	24. »	756,077	755,838	755,352	755,712	755,745
1821	780,82	6. Febr.	715,54	24. Dec.	755,986	755,755	755,285	755,764	755,697
1822	775,93	27. »	734,60	2. »	757,437	757,158	756,591	757,020	757,052
1823	772,23	7. Dec.	722,34	2. Febr.	755,033	754,796	754,353	754,633	754,704
1824	773,24	27. Mai.	728,66	12. Oct.	755,817	755,567	755,072	755,385	755,460
1825	776,35	10. Jan.	726,82	10. Nov.	757,742	757,430	756,873	756,962	757,252
1826	774,79	17. »	731,53	13. »	757,367	757,047	756,509	756,868	756,948
1827	773,48	28. Dec.	733,50	4. März.	756,211	755,995	755,484	755,847	755,884
1828	771,10	12. »	730,54	21. Febr.	756,306	756,084	755,616	755,982	755,997
1829	773,46	3. Febr.	734,68	7. Oct.	755,377	755,107	754,641	755,145	755,068
1830	771,90	1. Jan.	729,42	9. Dec.	755,918	755,691	755,255	755,772	755,646
1831	772,40	8. »	733,80	30. April.	755,356	755,157	754,676	755,176	755,091
1832	771,02	4. April.	738,05	30. »	757,893	757,548	757,025	757,597	757,515
1833	774,04	8. Jan.	730,68	1. »	755,790	755,508	754,988	755,521	755,452
1834	772,00	27. Dec.	739,46	10. Jan.	759,014	758,650	758,073	758,690	758,607
1835	776,63	2. Jan.	730,16	10. Oct	757,270	756,990	756,494	757,114	756,967
1836	775,81	2. »	724,00	28. März.	755 363	755,038	754,578	755,165	755,036
1837	772,41	14. Oct.	737,74	13. Sept.	756 686	756,381	755,861	756,360	756,322
1838	772,31	31. Dec.	728,88	25. Febr.	754,679	754,365	753,896	754,355	754,324
1839	771,53	1. Jan.	735,77	20. »	755,386	755,102	754,631	755,048	755,041
1840	772,37	11. »	731,70	4. »	756,492	756,135	755,628	756,198	756,113
Mittel	773,51		731,01		756,287	756,009	755,512	755,957	755,941

Orte.	Gr. Ocean.	Cumana.	La Guayra.	Calcutta.	Padua.	Halle.	Abo.	Petersburg.
Entfernung vom Aequator.	0° 0′	10° 28′ n.	10° 36′ n.	22° 35′ n.	45° 24′ n.	51° 29′ n.	60° 57′ n.	59° 66′ n.
Beobachter:	Horner.	Humboldt.	Boussingault.	Balfour.	Ciminello.	Kämtz.	Hallström.	Kupfer.
Mittag	752,35	756,57	759,41	759,61	757,02	753,29	759,31	759,47
1	751.87	755,99	758,91	759,22	756,85	753,11	759,29	»
2	751,55	755,47	758,41	758,39	756,67	752,99	759,27	759,38
3	751,15	755,14	758,12	758,12	756,54	752,89	759,25	»
4	751,02	754,96	758,05	757,91	756,47	752,84	759,25	759,32
5	751,31	755,14	758,10	757,93	756,46	752,86	759,27	»
6	751,71	755,41	758,40	758,01	756,50	752,91	759,29	759,31
7	751,93	755,81	758,90	758,02	756,63	753,02	759,34	»
8	752,35	756,21	759,19	758,54	756.79	753,14	759,39	759,32
9	752,74	756,59	759,69	759,24	756,92	753,24	759,44	»
10	752,85	756,87	759,93	759,33	757,02	753,31	759,47	759,36
11	752,86	757,15	759,98	759,09	757,02	753,29	759,47	»
Mitternacht	752,47	756,86	759,64	758,80	757,01	753,23	759,41	759,35
1	752,20	756,53	759,34	758,62	756 90	753,14	759,33	»
2	751,77	756,21	759,05	758.57	756,84	753,05	759.24	759,32
3	751,63	755,89	758,81	758,49	756,78	752,99	759,14	»
4	751,32	755,66	758,68	758,47	756.74	752,99	759,07	759,32
5	741,65	755,79	758,85	758,44	756,75	753,34	759,03	»
6	751,95	756,18	759,32	758,68	756.79	753,12	759,04	759,39
7	752,48	756,58	759,94	759,16	756 89	753,24	759,08	»
8	752,95	756,98	760,50	759,88	757,01	753,37	759,15	759,49
9	753,16	757,31	759,63	760,11	757,08	753,44	759,21	»
10	753,15	757,32	760,50	760.19	757,14	753,46	759 29	79,51
11	752,80	757,01	759,99	760,09	757,07	753,40	759,32	»

Nach dieser Tabelle ist in den folgenden Figuren der Gang der täglichen Barometervariationen für Cumana, Calcutta, Padua und Petersburg anschaulich gemacht.

Fig. 200. Cumana.

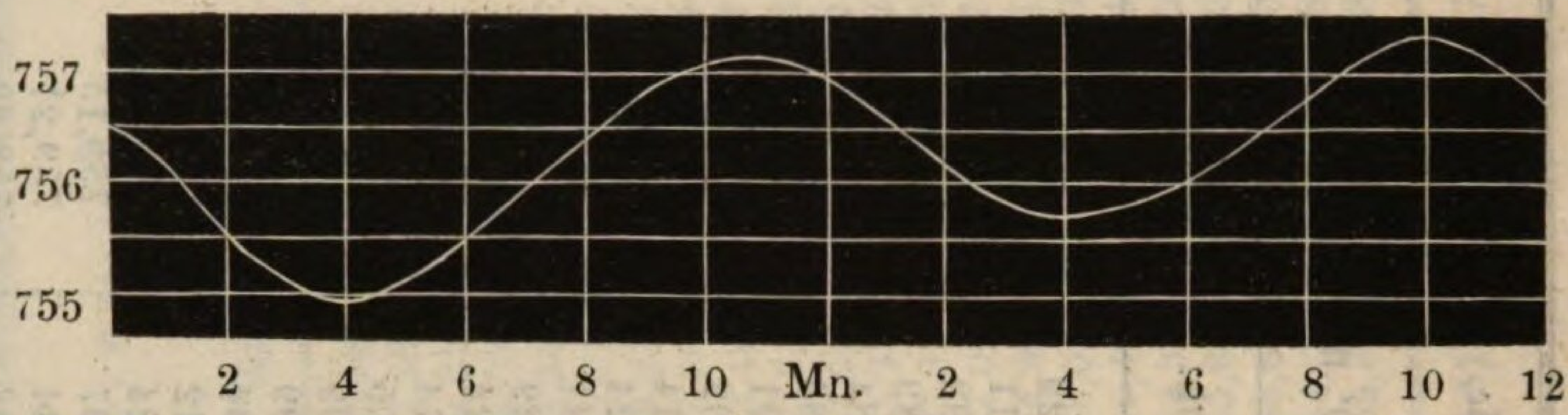


Fig. 201. Calcutta.

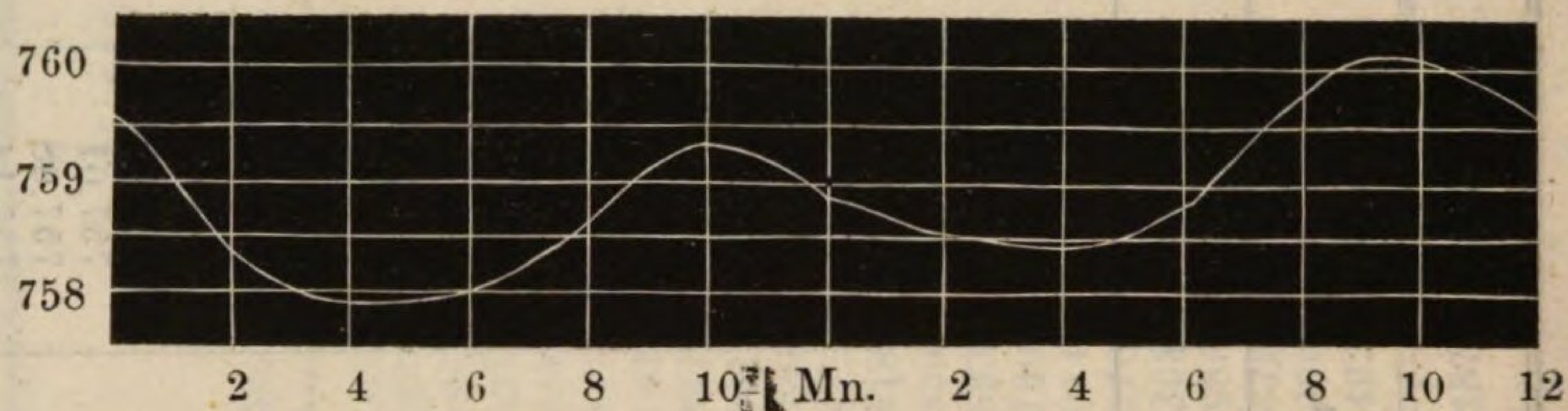


Fig. 202. Padua.

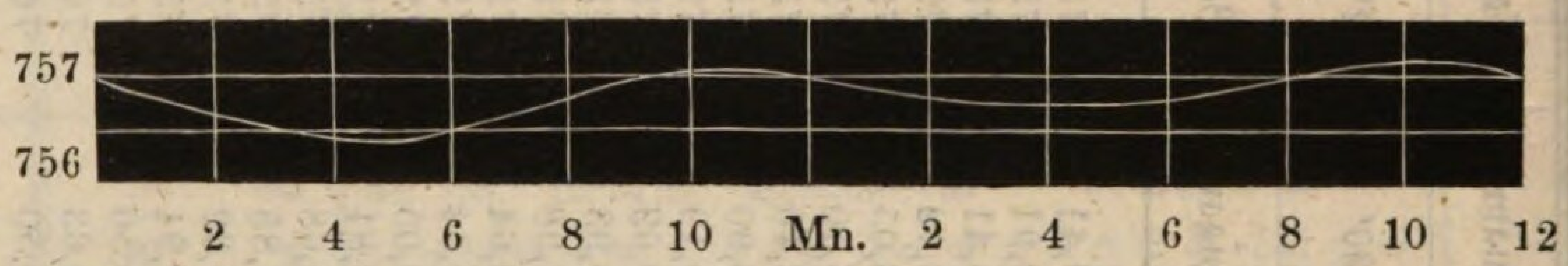
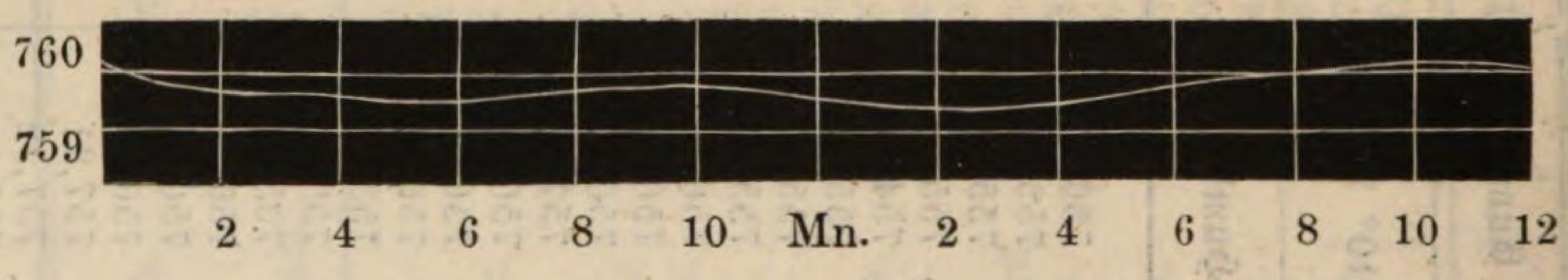


Fig. 203. Petersburg.



Die Zeit ist zur Abscisse genommen, der Maßstab der Ordinaten aber ist vergrößert, weil die Amplitude der täglichen Variationen namentlich in höheren Breiten sonst wegen ihrer Kleinheit nicht sichtbar geworden wäre; die Entfernung je zweier auf einander folgender Horizontallinien stellt $^1/_2$ Millimeter dar.

Das Barometer sinkt also vom Mittag an und erreicht zwischen 3 und 5 Uhr sein erstes Minimum, es steigt dann und erreicht ein Maximum zwischen 9 und 11 Uhr Abends; ein zweites Minimum tritt gegen 4 Uhr Morgens, ein zweites Maximum gegen 9 Uhr Morgens ein.

Die Stunden, in welchen die tägliche Variation ein Maximum oder Minimum erreicht, nennt man Wendestunden.

Die Wendestunden sind bei uns nicht für alle Jahreszeiten dieselben, wie

man aus folgender Tabelle ersehen kann, welche für Halle die Wendestunden in den verschiedenen Monaten des Jahres enthält.

Monate.	Minimum.	Maximum.	Minimum.	Maximum.
Januar	2,81h. A.	9,17h. A.	4,91h. M.	9,91h. M.
Februar	3,43	9,46	3,86	9,66
März	3,82	9,80	3,87	10,10
April	4,46	10,27	3,53	9,53
Mai	5,43	10,93	3,03	9,13
Juni	5,20	10,93	2,83	8,73
Juli	5,21	11,04	3,04	8,48
August	4,86	11,66	3,06	8,96
September . . .	4,55	10,45	3,45	9,71
October	4,17	10,24	3,97	10,07
November	3,52	9,85	4,68	10,08
December	3,15	9,11	3,91	10,18

Bestimmt man die Wendestunden, indem man das Mittel aus allen Monatszahlen nimmt, so ergeben sich für alle Orte sehr nahe dieselben Wendestunden. Wenn die Wendestunden nicht für alle Orte genau dieselben sind, so rührt vielleicht der Unterschied nur daher, daß nicht an allen Orten die Beobachtungsreihen lange genug fortgesetzt wurden; nimmt man alle auf der nördlichen Halbkugel angestellten Beobachtungen zusammen, so ergeben sich im Durchschnitt folgende Wendestunden:

Minimum des Nachmittags	4	Uhr	5	Minuten.
Maximum des Abends . . .	10	»	11	»
Minimum des Morgens . .	3	»	45	»
Maximum des Morgens . .	9	»	37	»

Vergleicht man die Amplitude der täglichen Variationen, so findet man, wie schon angeführt wurde, daß sie in den Tropen am größten ist, und daß sie um so mehr abnimmt, je weiter man sich von dem Aequator entfernt. In Cumana beträgt die Amplitude der täglichen Variationen 2,36, in Petersburg nur 0,2 Millimeter.

Auch die Jahreszeiten üben auf die Größe der täglichen Variationen einen Einfluß aus; selbst in den Tropen ist die Amplitude derselben während der Regenzeit geringer. Im Winter ist die Amplitude der täglichen Schwankungen ein Minimum; zu welcher Zeit sie ein Maximum ist, hat man bis jetzt noch nicht genügend ermittelt. Die folgende Tabelle giebt die Werthe der täglichen Amplitude zu Halle und Mailand für die 12 Monate des Jahres an.

Monate.	Halle.	Mailand.
	mm.	mm.
Januar . . .	0,393	0,738
Februar . . .	0,476	0,718
März	0,488	0,871
April	0,569	0,871
Mai	0,546	0,801
Juni	0,557	0,961
Juli	0,566	0,952
August	0,569	0,812
September . .	0,546	0,817
October . . .	0,566	0,745
November . .	0,426	0,727
December . .	0,363	0,700

153 **Jährliche Periode der Barometerschwankungen.** Wenn man den mittleren Barometerstand für die verschiedenen Monate des Jahres bestimmt, so findet man bald, daß er sich von einem Monate zum anderen bedeutend ändert, und man erkennt in diesen Veränderungen auch bald eine jährliche Periode des Sinkens und Steigens. Die beiden folgenden Tabellen enthalten die mittleren Barometerstände der verschiedenen Monate für 10 Orte der nördlichen Hemisphäre.

Monate.	Havannah.	Calcutta.	Benares.	Macao.	Cairo.
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
Januar . . .	765,24	764,57	755,41	767,93	762,40
Februar . . .	760,15	758,86	752,91	767,01	»
März	760,98	756,24	751,19	766,08	759,43
April	759,58	753,83	747,33	761,93	760,10
Mai	758,19	750,81	745,01	761,64	758,23
Juni	760,67	748,10	741,13	757,31	754,42
Juli	760,67	747,54	740,65	757,91	753,90
August . . .	757,33	748,53	743,31	757,91	754,06
September . .	757,46	751,85	745,98	762,22	756,70
October . . .	758,19	755,25	750,35	763,37	759,70
November . .	761,25	758,37	753,06	766,17	760,76
December . . .	763,62	760,59	755,57	768,65	761,82

Monate.	Paris.	Straß-burg.	Halle.	Berlin.	Peters-burg.
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
Januar . . .	758,86	751,62	754,64	761,91	762,54
Februar . . .	759,09	752,43	753,44	761,23	763,10
März	756,33	751,19	751,62	759,90	760,76
April	755,18	749,95	750,98	757,82	761,19
Mai	755,61	750,49	752,57	759,88	760,94
Juni	757,28	752,16	752,70	759,81	759,83
Juli	756,52	751,64	753,27	759,58	758,25
August . . .	756,74	752,03	752,18	759,02	759,94
September . .	756,61	752,59	753,42	760,53	761,19
October . . .	754,42	751,82	755,55	761,25	760,82
November . .	755,75	751,28	753,27	759,43	758,05
December . . .	755,09	750,70	754,10	760,35	760,22

Fig. 204. Calcutta.

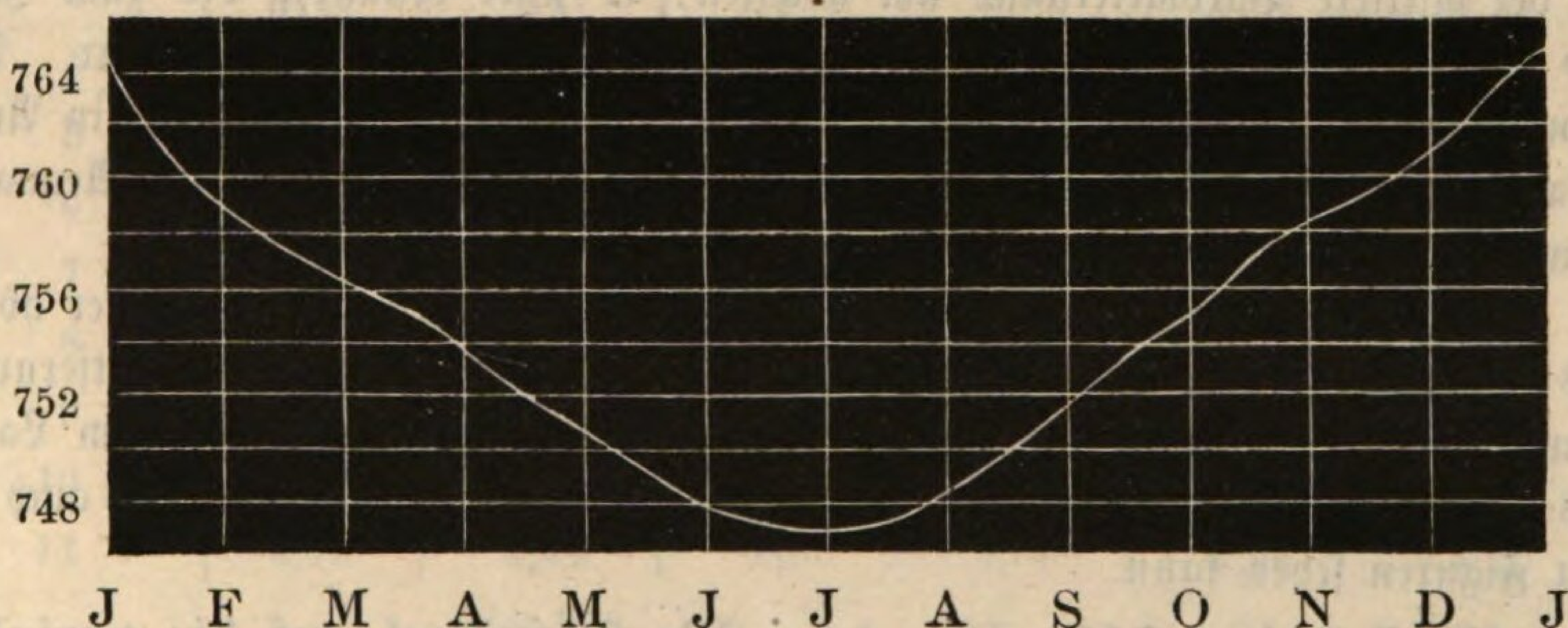


Fig. 205. Macao.

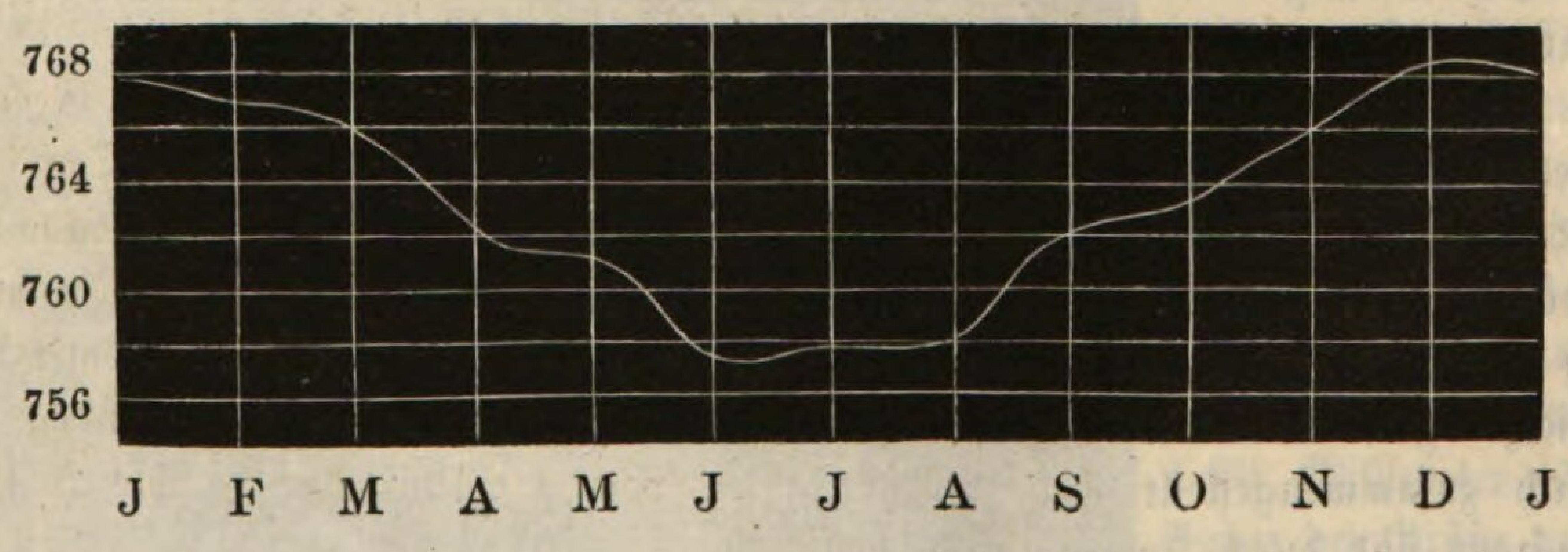


Fig. 206. Paris.

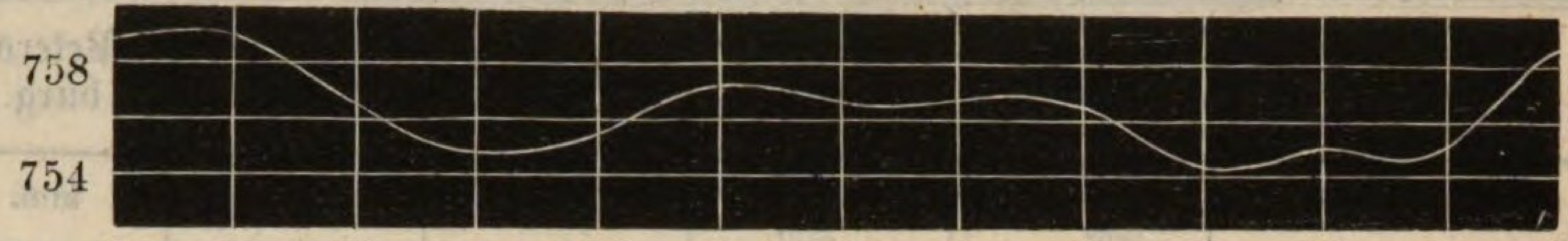
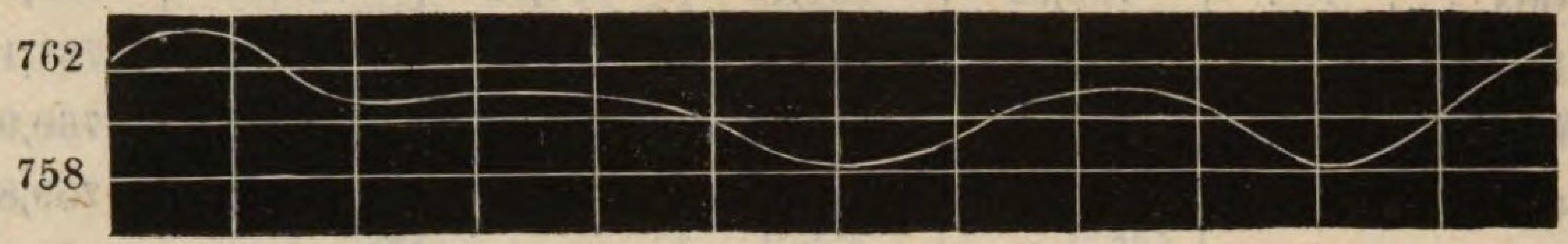


Fig. 207. Petersburg.



Um die Veränderungen des mittleren Barometerstandes im Laufe eines Jahres anschaulicher zu machen, folgt hierbei in Fig. 204 bis 207 die graphische Darstellung derselben für Calcutta, Macao, Paris und Petersburg. Die Entfernung zweier Horizontallinien entspricht einer Höhendifferenz von 2 Millimetern, in verticaler Richtung ist also der Maßstab dieser Figuren 4mal kleiner, als der Maßstab der Figuren 200 bis 203.

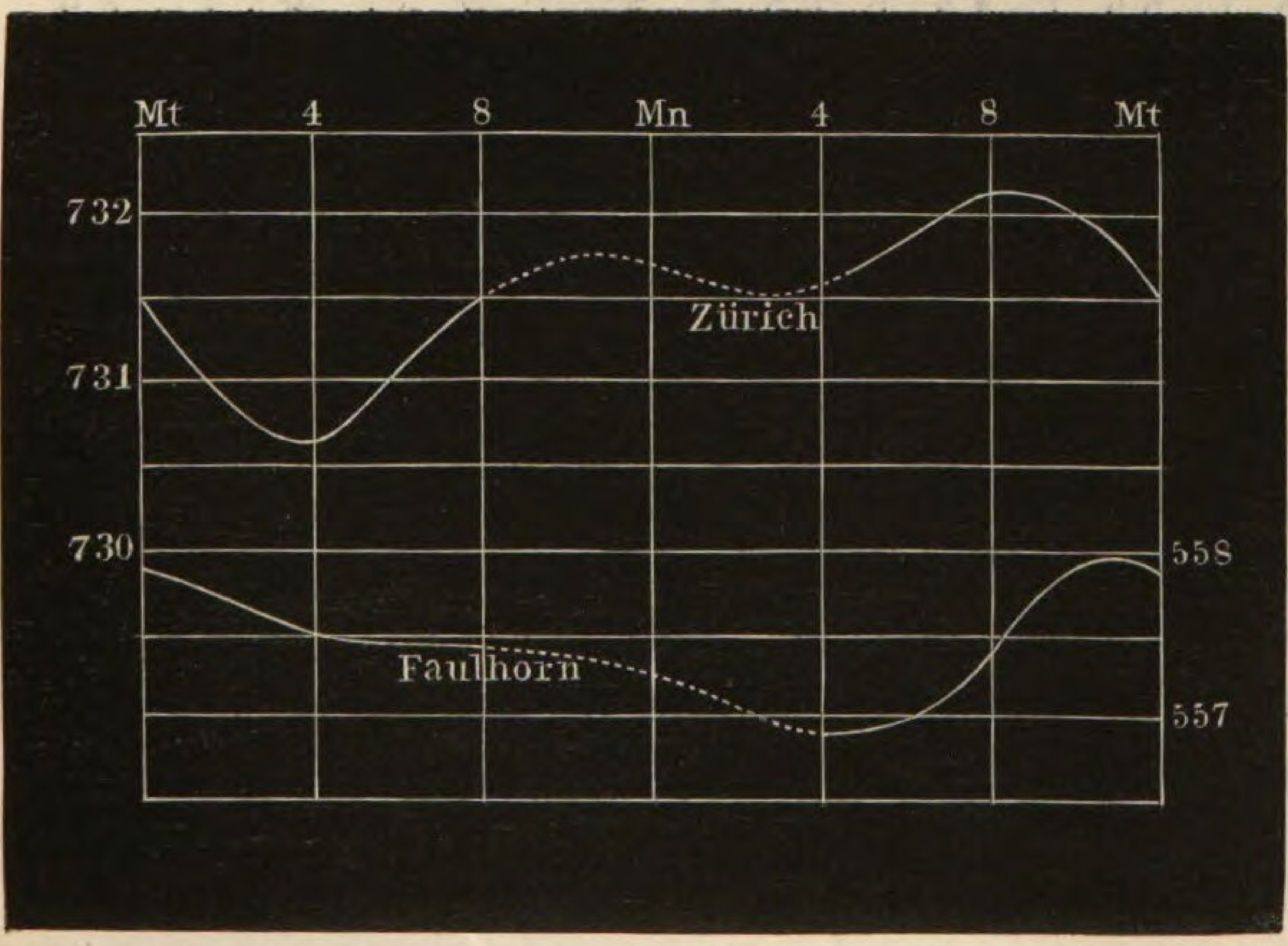
In Calcutta, wo man eine achtjährige Reihe von Beobachtungen angestellt hat, spricht sich die jährliche Periode am entschiedensten aus. Im Januar ist der mittlere Barometerstand am höchsten, er sinkt beständig bis zum Juli, wo er sein Minimum erreicht, und steigt dann wieder bis zum Januar. Die Amplitude der jährlichen Periode beträgt für Calcutta 17 Millimeter; in Amerika scheint diese Amplitude, welche ebenfalls mit der Entfernung vom Aequator abnimmt, geringer zu sein.

Auch in höheren Breiten ist der mittlere Barometerstand im Winter höher als in allen übrigen Jahreszeiten, außerdem aber ist in größerer Entfernung vom Aequator der periodische Gang des mittleren Barometerstandes im Laufe des Jahres nicht so regelmäßig, wie man sowohl aus der Tabelle, als auch in den Figuren sehen kann.

154 **Einfluß der Höhe über dem Meeresspiegel auf die periodischen Schwankungen des Barometers.** Da das Barometer die Größe des Druckes anzeigt, welchen die über uns befindliche Luft ausübt, so werden die Schwankungen des Barometers auf hohen Bergen, wo eine Luftsäule von weit geringerer Höhe und Dichtigkeit drückt, auch geringer sein müssen als in der Tiefe, und es läßt sich erwarten, daß in gewissen Höhen über dem Meeresspiegel die Veränderungen des Luftdrucks ganz unmerklich werden. Daß die Erhebung über das Niveau des Meeres wirklich einen solchen Einfluß ausübt, geht aus den Barometerbeobachtungen hervor, welche Kämtz auf dem Rigi und auf dem Faulhorn angestellt hat, und welche in der folgenden Tabelle mit den gleichzeitigen mittleren Barometerständen der verschiedenen Tagesstunden zu Zürch zusammengestellt sind. Die Zahlen von 10 Uhr Abends bis 5 Uhr Morgens sind durch Interpolation bestimmt.

Stunden.	Zürch.	Rigi.	Unter-schiede.	Zürch.	Faulhorn.	Unter-schiede.
	mm 720 +	mm 610 +	mm 100 +	mm 730 +	mm 550 +	mm 170 +
Mittag.	4,08	4,36	9,72	1,58	7,88	3,70
1	3,92	4,37	9,57	1,25	7,75	3,50
2	3,82	4,38	9,45	0,99	7,66	3,33
3	3,72	4,34	9,38	0,71	7,59	3,13
4	3,63	4,34	9,30	0,64	7,50	3,15
5	3,61	4,30	9,31	0,76	7,49	3,27
6	3,76	4,38	9,38	0,92	7,51	3,41
7	3,95	4,40	9,57	1,21	7,41	3,80
8	4,22	4,57	9,87	1,52	7,43	4,10
9	4,55	4,70	9,85	1,72	7,44	4,27
10	4,61	4,72	9,90	1,79	7,41	4,39
11	4,68	4,68	10,00	1,77	7,36	4,41
Mitternacht.	4,58	4,58	10,01	1,72	7,28	4,44
1	4,43	4,45	9,99	1,63	7,19	4,45
2	4,28	4,30	9,98	1,54	7,08	4,47
3	4,19	4,17	10,03	1,51	6,96	4,55
4	4,18	4,09	10,10	1,54	6,90	4,65
5	4,25	4,03	10,23	1,66	6,90	4,76
6	4,31	4,03	10,28	1,79	7,05	4,76
7	4,38	4,05	10,33	1,97	7,16	4,80
8	4,41	4,13	10,28	2,13	7,36	4,77
9	4,38	4,16	10,22	2,20	7,62	4,57
10	4,29	4,23	10,06	2,12	7,89	4,24
11	4,19	4,34	9,86	1,87	7,99	3,97

Fig. 208.



Hier zeigt sich der Einfluß der Höhe auf die Größe der täglichen Variationen entschieden. Die Differenz zwischen dem höchsten und niedrigsten Stande ist in Zürch 1,56 Millimeter, während sie auf dem Faulhorn nur 1,09 Millimeter ist. Außer der Größe der Schwankungen zeigt sich aber auch im

Gange des Barometers eine große Verschiedenheit, wie man am besten aus Fig. 208 (a. v. S.) ersieht, in welcher die täglichen Variationen auf dem Faulhorn und in Zürch durch Curven anschaulich gemacht sind. Die Zahlen rechts beziehen sich auf die untere, die Zahlen links auf die obere Curve. Man sieht, daß am Nachmittag das Barometer an beiden Orten sinkt; in Zürch steigt es aber von 4 Uhr an bis gegen 10 Uhr Abends, während auf dem Faulhorn das Sinken bis 5 Uhr Morgens fortdauert; nun steigt auf dem Faulhorn das Barometer wieder bis gegen Mittag, während es in Zürich schon um 9 Uhr Morgens seinen höchsten Stand erreicht; auf dem Faulhorn ist also im Laufe des Tages nur ein entschiedenes Maximum und ein entschiedenes Minimum wahrzunehmen.

155 **Mittlere monatliche Schwankungen.** Es ist bereits erwähnt worden, daß in unseren Gegenden die periodischen Schwankungen des Barometers durch die zufälligen, nicht periodischen maskirt sind, daß man die periodischen Schwankungen nur durch Mittelzahlen aus lange fortgesetzten Beobachtungsreihen nachweisen kann. Wir wollen uns jetzt zur Betrachtung der nicht periodischen Schwankungen wenden und zunächst den Einfluß der Jahreszeiten auf die Größe derselben kennen lernen.

Nach den vom physikalischen Vereine zu Frankfurt a. M. angestellten meteorologischen Beobachtungen sind Folgendes die Unterschiede des höchsten und tiefsten Tagesmittels für jeden der 12 Monate vom Jahre 1837 bis 1843 in Pariser Linien:

	1837	1838	1839	1840	1841	1842	1843	Mittel.
Januar	9,5	10,5	15	13,5	15	10,5	18	13,1
Februar . . .	13	15	10,5	15,5	10	13	13	13
März	6,5	12,5	10	8,5	13	12	7,5	10
April	8,5	8	6,5	8	8	11,5	8	8,3
Mai	6	7,5	7	11	7,5	6,5	7	7,5
Juni	3,5	5,5	7,5	5,5	8,5	5	5	5,8
Juli	4,5	5,5	4,5	6,5	7	7	8,5	6,2
August	8,5	7,5	8,5	6	8	7	5,5	7,3
September . .	8	9,5	9,5	9,5	6	8	9	8,3
October . . .	11	8,5	4	13	11	13	11	10,2
November. .	13	12	7,5	14	16,5	14	7	12
December. .	9,5	9,5	9,5	12,5	10	8,5	7,5	9,6

Man ersieht aus dieser Tabelle, daß die Größe der nicht periodischen Schwankungen im Sommer kleiner ist als im Winter, besonders deutlich ersieht man dies aus den Mittelzahlen der letzten Columne. Nimmt man das Mittel aus den 12 Zahlen der letzten Columne, so erhält man den Werth 9,28 Pariser Linien oder 20,4 Millimeter als Durchschnittswerth für die Differenz der monatlichen Extreme.

Dies ist jedoch noch nicht der wahre Mittelwerth für die Größe der monatlichen Schwankungen; denn wir haben ja nicht die Differenz des im Laufe eines Monats beobachteten höchsten und niedrigsten Barometerstandes, sondern nur den Unterschied des höchsten und tiefsten mittleren täglichen Barometerstandes in Rechnung gebracht.

Die folgende Tabelle enthält die mittlere monatliche Amplitude der Barometerschwankungen an verschiedenen Orten der Erde.

Batavia	6°	12′	S.	2,98mm
Tivoli (St. Domingo) . . .	18	35	N.	4,11
Havannah	23	9		6,38
Calcutta	22	34		8,28
Teneriffa	28	26		8,48
Funchal (Madeira)	22	37		10,42
Cap der guten Hoffnung . .	33	55	S.	12,45
Rom	41	53	N.	17,15
Montpellier	43	36		18,02
Mailand	45	28		19,24
Wien	48	13		20,53
Prag	50	5		21,54
Paris	48	50		23,66
Mannheim	48	29		23,66
Moskau	55	46		24,05
Berlin	52	31		25,24
New-Haven (Connecticut) .	41	10		25,29
Jakutzk	62	2		25,92
London	51	31		27,88
Petersburg	59	56		29,24
Nain (Labrador)	57	8		32,35
Christiania	59	55		33,05
Naes (Island)	64	30		35,91

Die nicht periodischen Barometerschwankungen sind also nicht allein im Winter größer als im Sommer, sondern sie sind auch in kalten Ländern bedeutender als in heißen, d. h. sie nehmen im Allgemeinen um so mehr zu, je weiter man sich vom Aequator entfernt.

Solche Linien auf der Erdoberfläche, welche alle Orte mit einander verbinden, für welche die mittlere monatliche Amplitude der Barometerschwankungen dieselbe ist, heißen *isobarometrische Linien*.

Wir können hier den Lauf der isobarometrischen Linien nicht weiter verfolgen und müssen uns auf einige allgemeine Bemerkungen beschränken. Aus der eben mitgetheilten Tabelle ersieht man, daß die isobarometrischen Linien durchaus nicht mit den Parallelkreisen zusammenfallen. Calcutta und Havannah liegen nahe in gleicher Breite, und doch sind die Barometerschwankungen in Calcutta weit bedeutender. An der Ostküste von Nordamerika sind die zufälligen Schwankungen des Barometers viel größer als an den Westküsten von Europa,

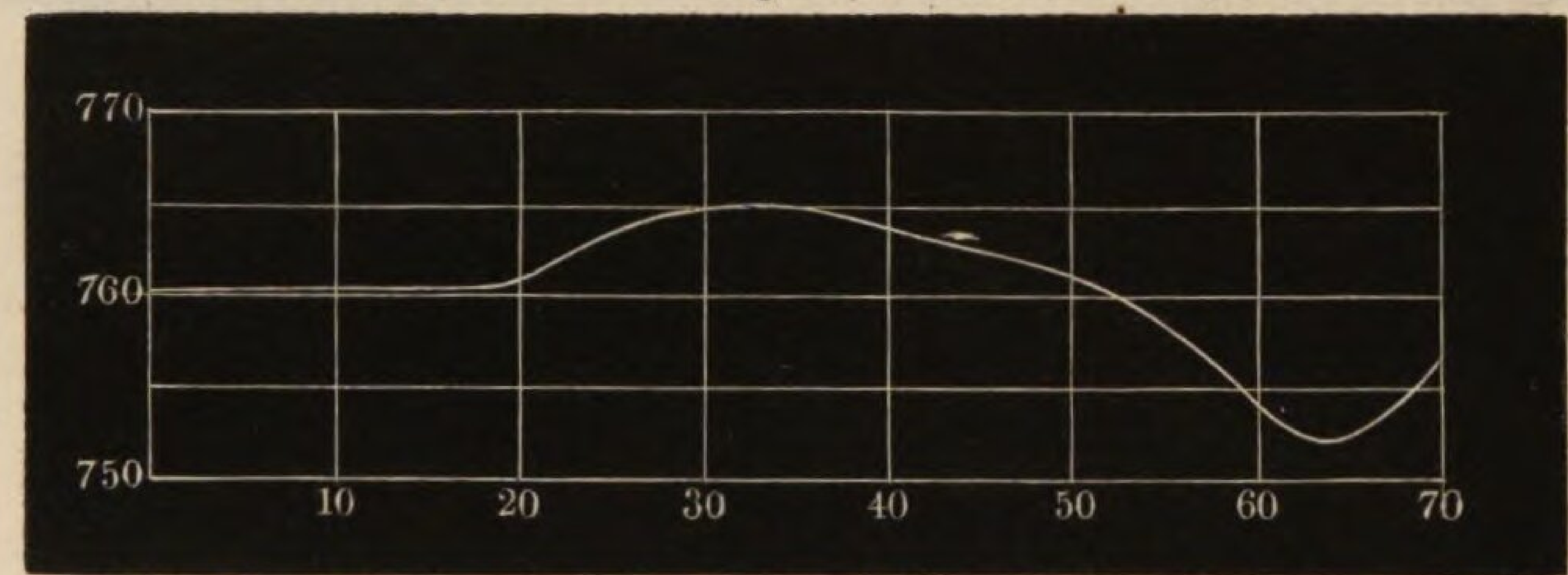
sie sind in New-Haven und dem 11° 21′ nördlicher gelegenen Berlin fast gleich, die isobarometrischen Linien steigen also von den Ostküsten Nordamerikas nach Europa und entfernen sich dann um so weiter vom Aequator, je weiter man ins Innere des Continents der alten Welt kommt.

156 **Mittlere Barometerhöhe im Niveau des Meeres.** Man glaubte früher, daß der mittlere Barometerstand am Meeresspiegel allenthalben derselbe sei; dies ist jedoch nicht der Fall, wie man aus folgender Tabelle ersehen kann, in welcher die mittleren Barometerstände verschiedener am Meere gelegener Orte zusammengestellt sind.

Cap der guten Hoffnung .	33° S.	763,01mm
Rio Janeiro	23	764,03
Christianborg	5° 30′ N.	760,10
St. Thomas	19	760,51
Macao	23	762,99
Madeira	32 30	765,18
Neapel	41	762,95
Paris	49	761,41
Edinburgh	56	758,25
Reikiavig	64	752,00
Spitzbergen	75 30	756,76

Wir sehen aus dieser Tabelle, wie dies in Fig. 209 auch graphisch dargestellt ist, daß der mittlere Barometerstand am Meere vom Aequator nach dem Nordpole hin erst wenig, dann rascher zunimmt, daß er zwischen dem 30. und 40. Breitengrade sein Maximum erreicht, dann weiter nach Norden hin wieder abnimmt und zwischen dem 60. und 70. Grade nördlicher Breite am kleinsten ist.

Fig. 209.



157 **Ursachen der Barometerschwankungen.** Die letzte Ursache aller Barometerschwankungen ist in der ungleichen und stets sich ändernden Wärmevertheilung auf der Erde zu suchen. Da sich die Wärmevertheilung auf der Erde beständig ändert, so wird auch das Gleichgewicht in jedem Augenblicke gestört, es entstehen Luftströmungen, welche das gestörte Gleichgewicht herzustellen streben, und so ist denn die Luft in beständiger Bewegung; bald mehr erwärmt und deshalb leichter, bald wieder erkaltet und deshalb dichter, bald mehr, bald weniger Wasserdampf enthaltend, wird auch der Druck der Luftsäule fortwährenden Veränderungen unterworfen sein, welche uns das Barometer anzeigt.

Daß wirklich Temperaturveränderungen die Ursache der Barometerschwankungen sind, geht schon daraus hervor, daß sie in den Tropen, wo die Tem-

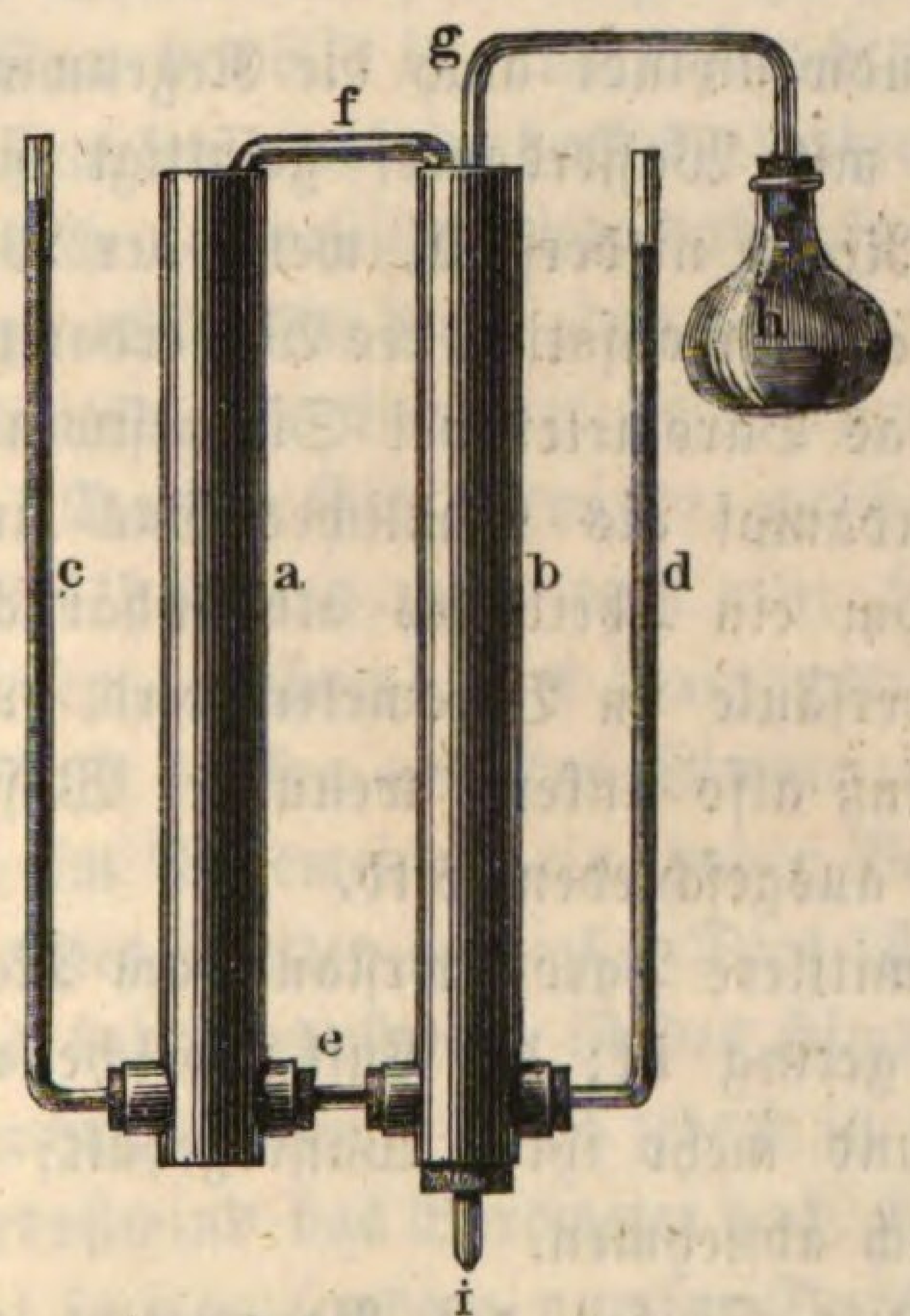
peratur so wenig veränderlich ist, auch am unbedeutendsten sind; in höheren Breiten dagegen, wo die Variationen der Temperatur immer bedeutender werden, ist auch die Amplitude der zufälligen Barometerschwankungen sehr groß; ja selbst im Sommer, wo die Temperatur im Allgemeinen weniger veränderlich ist, sind die Oscillationen des Barometers kleiner als im Winter.

Im Allgemeinen kann man leicht darthun, daß die ungleiche stets sich ändernde Erwärmung der Luft beständige Veränderungen in der Größe des Luftdrucks zur Folge haben muß.

Wenn an irgend einem Orte die Luft bedeutend erwärmt wird, so dehnt sie sich aus, die Luftsäule erhebt sich über die Luftmasse, welche auf den kälteren Umgebungen ruht, die in die Höhe gestiegene Luft wird also oben nach den Seiten hin abfließen, der Druck der Luft muß also an den wärmeren Orten abnehmen, das Barometer wird daselbst sinken müssen; in den kälteren Umgebungen aber muß das Barometer steigen, weil sich die in den oberen Regionen der erwärmten Gegenden seitwärts abfließende Luft über die Atmosphäre der kälteren Gegenden verbreitet.

Es läßt sich dies durch den Apparat Fig. 210, anschaulich machen. *a* und *b* sind Blechröhren von $1\frac{1}{2}$ bis 2 Fuß Höhe, welche unten bei *e* durch ein Stück Thermometerrohr verbunden sind. Mit der Blechröhre *a* ist die Glasröhre *c*, mit der Röhre *b* ist die Glasröhre *d* in Verbindung. Wenn man in eine der Röhren *b* oder *a* Wasser gießt, so wird dasselbe nur langsam durch die enge Röhre bei *e* in die andere Röhre fließen können. Wenn man beide Röhren *a* und *b* fast bis oben füllt und sie dann oben durch ein hinlänglich weites Heberrohr *f* in Verbindung setzt, so muß sich das Wasser in allen vier Röhren, *c*, *a*, *b* und *d*, gleich hoch stellen. Nun aber geht durch das Blechrohr *b* von oben bis unten ein unten offenes Glasrohr *gi* hindurch, durch welches die in dem Kolben *h* mittelst einer Weingeistlampe entwickelten Wasserdämpfe hindurchgeleitet werden. In unserer Figur ist der Kolben *h* neben die Röhre *d* gezeichnet worden; es ist aber besser, wenn er, was sich in der Figur nicht so gut hätte darstellen lassen, hinter *b* sich befindet.

Fig. 210.



Da das Rohr *gi* mit kaltem Wasser umgeben ist, so werden die durchstreichenden Dämpfe verdichtet, und das Wasser in *b* wird erwärmt. Wenn nun zwischen *a* und *b* gar keine Verbindung wäre, so würde die Wassersäule in *b* steigen, ohne daß das Wasser in *d* steigt, weil *b* erwärmt wird, *d* aber kalt bleibt; weil aber die Röhren *b* und *a* oben durch die Heberröhre *f* verbunden sind, so kann das Wasser in *b* nicht höher stehen als in *a*, ein Theil des in *b* erwärmten

Wassers fließt nach *a* über, und in Folge dessen sinkt das Wasser in *d*, in *c* aber steigt es, weil zu dem schon in *a* vorhandenen Wasser noch neues durch den Heber *f* hinzukommt.

Wäre *e* eine hinlänglich weite Röhre, so würde das Wasser in allen vier Röhren stets gleich hoch bleiben, weil in dem Maße, als warmes Wasser durch *f* nach *a* fließt, unten umgekehrt kaltes Wasser durch *e* nach *b* fließen, weil sich also das gestörte Gleichgewicht in jedem Augenblicke wieder herstellen würde; dies ist aber nicht möglich, weil die Röhre *e* zu enge ist. Ebenso wird in erkalteten Gegenden der Luftdruck zu-, in erwärmten abnehmen, weil die Luft in den unteren Regionen nicht schnell genug der erwärmten Gegend zuströmen kann, um das gestörte Gleichgewicht sogleich wieder herzustellen.

Dadurch erklärt sich auch, warum in unseren Gegenden im Durchschnitte bei Südwestwinden das Barometer am tiefsten, bei Nordostwinden am höchsten steht; die Südwestwinde bringen uns warme Luft, während uns die Nordostwinde kältere Luft zuführen. Da wo ein warmer Luftstrom weht, müßte die Atmosphäre eine größere Höhe haben als da, wo der kalte Wind weht, wenn der Druck der ganzen Luftsäule an beiden Orten derselbe sein sollte; wäre dies aber auch wirklich der Fall, so würde die Luft des warmen Stromes oben abfließen, das Barometer also unter dem warmen Luftstrome sinken, unter dem kalten dagegen steigen.

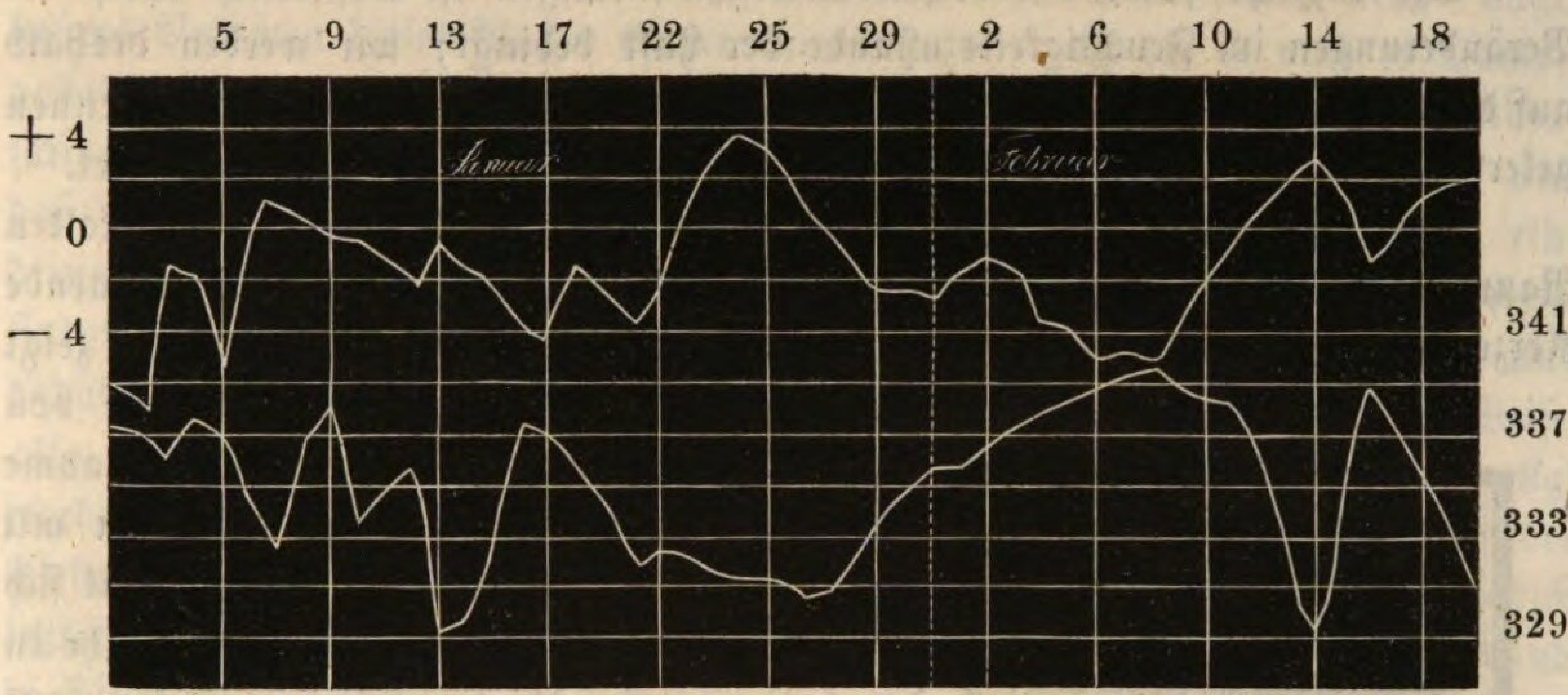
In Europa sind im Durchschnitte die Südwestwinde auch die Regenwinde, weil sie, von wärmeren Meeren kommend, mit Wasserdampf gesättigt sind, welcher sich nach und nach verdichtet und als Regen niederfällt, wenn der Wind zu immer kälteren Gegenden gelangt. In dieser Condensation des Wasserdampfes ist ein zweiter Grund zu suchen, warum das Barometer bei Südwestwinden niedrig steht. So lange nämlich der Wasserdampf als förmliches Gas einen Bestandtheil der Atmosphäre ausmacht, ist ihm ein Theil des atmosphärischen Druckes zuzuschreiben, ein Theil der Quecksilbersäule im Barometer wird durch den Wasserdampf getragen; das Barometer muß also sinken, wenn der Wasserdampf aus der Atmosphäre durch Verdichtung ausgeschieden wird.

Dieser Umstand erklärt auch, daß der mittlere Barometerstand am Meere zwischen dem 60. und 70. Breitengrade so gering ist; die Luft, welche von südlichen Gegenden herkommt, verliert mehr und mehr ihren Wassergehalt, der Druck, den sie ausübt, muß also nach und nach abnehmen.

Nach der eben entwickelten Ansicht ist das Sinken des Barometers eine Erscheinung, welche das Wehen warmer Winde begleitet, während kalte Winde ein Steigen des Barometers veranlassen; im Allgemeinen wird also das Thermometer steigen, wenn das Barometer fällt. Dies ist auch in der That der Fall, und zwar tritt dieser Gegensatz im Gange der beiden Instrumente am deutlichsten im Winter auf. Die Figur 211, welche den Beobachtungen des physikalischen Vereins zu Frankfurt a. M. entnommen ist, zeigt den Gang der mittleren täglichen Temperatur (obere Curve) und des mittleren täglichen Barometerstandes (untere Curve) daselbst vom 1. Januar bis zum 20. Februar 1837; man sieht, wie in der That das Barometer gewöhnlich steigt, wenn das

Thermometer fällt, und daß ein barometrisches Minimum meistens mit einem thermometrischen Maximum zusammenfällt.

Fig. 211.



Die Beobachtungen anderer Jahre und anderer Orte geben dasselbe Resultat.

Wenn dieser Gegensatz im Sommer nicht so rein auftritt, so ist der Grund davon darin zu suchen, daß die an sich warmen Südwestwinde im Sommer doch eine kühlere Temperatur zur Folge haben, weil, wenn sie wehen, der Himmel meistens bewölkt ist und dadurch die Erwärmung des Bodens durch die Sonnenstrahlen verhindert wird, während die abkühlende Wirkung der Nordostwinde dadurch neutralisirt wird, daß sich bei heiterem Himmel durch die kräftig wirkenden Sonnenstrahlen der Boden bedeutend erwärmt. Damit hängt auch die geringe Amplitude der Barometerschwankungen im Sommer zusammen.

Da die Südwestwinde, welche in unseren Gegenden ein Sinken des Barometers bewirken, uns auch eine feuchte Luft zuführen und regnerisches Wetter bringen, während das Barometer steigt, wenn Nordostwinde wehen, welche die Luft trocken und den Himmel heiter machen, so kann man allerdings sagen, daß im Allgemeinen ein hoher Barometerstand schönes Wetter, ein tiefer aber schlechtes Wetter anzeigt. Dies ist aber, wie gesagt, nur eine Durchschnittsregel, denn bei Nordostwind ist der Himmel auch öfters bewölkt, bei Südwestwind auch manchmal heiter; sie ist jedoch in derselben Ausdehnung wahr wie die, daß bei Nordostwind das Barometer hoch, bei Südwestwind dagegen tief steht; dies ist auch nicht immer, sondern nur im Durchschnitte wahr. Wir können uns von solchen Anomalien keine Rechenschaft geben, weil uns die mannigfachen Elemente nicht genügend bekannt sind, welche den Gleichgewichtszustand der Atmosphäre bedingen.

Daß ein hoher Barometerstand im Allgemeinen heiteres Wetter, ein tiefer aber trübes Wetter anzeigt, ist auch nur für solche Orte wahr, an welchen die warmen Winde zugleich die Regen bringenden sind. An dem Ausflusse des La Platastromes z. B. sind die kalten Südostwinde, welche vom Meere her wehen und das Barometer steigen machen, die Regenwinde; die warmen Nordwestwinde aber, bei welchem das Barometer sinkt, sind trockene Landwinde und bringen heiteres Wetter. Dem Umstande, daß dort der Regen durch kalte Winde gebracht

wird, ist die geringere Regenmenge dieser Gegenden zuzuschreiben, während unter gleicher Breite an den Westküsten von Südamerika sehr viel Regen fällt, indem hier der warme Nordwestwind zugleich ein Seewind ist.

Die tägliche Periode der Barometerschwankungen ist wesentlich durch die Veränderungen im Feuchtigkeitszustande der Luft bedingt; wir werden deshalb auf diesen Gegenstand zurückkommen, wenn wir die Veränderungen werden kennen gelernt haben, welche der Wassergehalt der Luft im Laufe des Tages erleidet.

158 **Entstehung der Winde.** Wenn man im Winter die in einen kalten Raum führende Thür eines geheizten Zimmers etwas öffnet und eine brennende Kerze an das obere Ende des Spaltes hält, wie man Fig. 212 sieht, so zeigt die nach außen gerichtete Flamme einen von dem warmen Zimmer nach dem kalten Raume gerichteten Luftstrom an. Rückt man nun mit der Kerze mehr und mehr herunter, so stellt sich die Flamme immer mehr aufrecht, ungefähr in der halben Höhe der Oeffnung steht sie ganz still, sie ist hier nicht durch Luftströmungen afficirt; bringt man sie aber noch weiter herunter, so wird die Flamme von außen nach innen getrieben. Man sieht also, daß die erwärmte Luft oben aus- und daß dagegen unten die kalte Luft in das Zimmer einströmt.

Fig. 212.



Wie hier im Kleinen die ungleiche Erwärmung der beiden Räume Luftströmungen veranlaßt, so ist auch die ungleiche stets wechselnde Erwärmung der Erdoberfläche und des über ihr schwebenden Luftmeeres die Ursache der Luftströmungen, die wir Winde nennen. Auch im Großen sieht man die Luft in den stärker erwärmten Gegenden aufsteigen und in der Höhe nach den kälteren abfließen, während unten die Luft von den kälteren Gegenden den wärmeren zuströmt.

Ein einfaches Beispiel geben uns die Land- und Seewinde, welche man häufig an den Meeresküsten, namentlich aber auf den Inseln wahrnimmt. Einige Stunden nach Sonnenaufgang erhebt sich ein von dem Meere nach der Küste gerichteter Wind, der Seewind, weil das feste Land unter dem Einflusse der Sonnenstrahlen stärker erwärmt wird als das Meer, über dem Lande steigt die Luft in die Höhe und fließt oben nach dem Meere hin ab, während unten die Luft vom Meere gegen die Küsten strömt. Dieser Seewind ist anfangs schwach und nur an den Küsten selbst fühlbar, später nimmt er zu und zeigt sich dann auf dem Meere schon in größerer Entfernung von der Küste; zwischen 2 und 3 Uhr Nachmittags wird er am stärksten, nimmt dann wieder ab, und gegen Untergang der Sonne tritt eine Windstille ein. Dann erkaltet Land und Meer durch die Wärmestrahlung gegen den Himmelsraum, das Land erkaltet aber rascher als das Meer, und nun strömt die Luft in den unteren Regionen vom Lande nach dem Meere, während in den oberen Luftregionen eine entgegengesetzte Strömung stattfindet.

Zu den Ursachen, welche Luftströmungen, ja die heftigsten Stürme erzeugen können, ist auch eine schnelle Condensation des atmosphärischen Wasserdampfes zu zählen. Wenn man bedenkt, welch' eine ungeheure Wassermasse während eines Platzregens in wenigen Minuten zur Erde fällt, welch' ungeheures Volumen dieses Wasser eingenommen haben muß, als es noch in Dampfgestalt in der Atmosphäre schwebte, so ist klar, daß durch die plötzliche Condensation dieser Wasserdämpfe eine bedeutende Luftverdünnung bewirkt wird und daß die Luft von allen Seiten her mit Gewalt in den verdünnten Raum eindringen muß, um so mehr, als da, wo die Condensation der Wasserdämpfe stattfindet, die Temperatur der Luft durch die frei werdende Wärme erhöht und dadurch ein kräftig aufsteigender Luftstrom erzeugt wird. Daß auf diese Weise, also gleichsam durch Saugen, häufig Winde, und namentlich Stürme erzeugt werden, dafür sprechen zahlreiche Erfahrungen. Wargentin bemerkt, daß der Westwind in der Regel zu Moskau eher als zu Abo beobachtet wird, obgleich letztere Stadt bedeutend westlicher liegt als Moskau; auch bläst dieser Westwind in Finnland oft eher als in Schweden.

Franklin erzählt, daß, als er zu Philadelphia eine Mondfinsterniß beobachten wollte, er daran durch einen Nordoststurm verhindert wurde, welcher sich gegen 7 Uhr Abends einstellte und den Himmel mit dichten Wolken überzog; er war überrascht, einige Tage nachher zu erfahren, daß der Sturm zu Boston, welches ungefähr 300 englische Meilen nordöstlich von Philadelphia liegt, erst um 11 Uhr Abends angefangen hatte, nachdem schon die ersten Phasen der Mondfinsterniß beobachtet worden waren. Indem er alle Berichte aus den verschiedenen Colonien mit einander verglich, bemerkte Franklin durchgängig, daß dieser Nordoststurm an verschiedenen Orten um so später sich eingestellt hatte, je weiter sie nach Norden lagen.

Es ist bekannt, daß zwischen Häusern der Wind oft in anderer Richtung weht als über den Gebäuden, weil durch diese die Windrichtung auf mannigfache Art modificirt wird. Gerade so wie die Häuser können aber auch Gebirge locale Störungen in der Windrichtung bewirken.

Oft sieht man die Wolken in anderer Richtung ziehen, als die ist, welche die Windfahnen zeigen, und oft ziehen die höheren Wolken in anderer Richtung als die tiefer schwebenden, woraus hervorgeht, daß in verschiedenen Höhen Luftströmungen nach verschiedener Richtung stattfinden.

Passatwinde und Moussons. Als Columbus auf seiner Entdeckungsreise nach Amerika seine Schiffe durch einen beständigen Ostwind fortgetrieben sah, wurden seine Gefährten mit Schrecken erfüllt, weil sie fürchteten, nimmer nach Europa zurückkehren zu können. Dieser in den Tropen beständig von Osten nach Westen wehende Wind, welcher so sehr das Erstaunen der Seefahrer des 15. Jahrhunderts erregte, ist der Passatwind. Die Schiffer benutzen diesen Wind, um von Europa nach Amerika zu segeln, indem sie von Madeira aus südlich bis in die Nähe des Wendekreises steuern, wo sie dann durch den Passat nach Westen getrieben werden. Diese Reise ist so sicher und die Arbeit der Matrosen dabei so gering, daß die spanischen Seeleute diesen 159

Theil des atlantischen Oceans den Frauengolf (el golfo de las Damas) nannten. Auch in der Südsee weht dieser Wind; die spanischen Schiffer ließen sich durch ihn in gerader Linie von Acapulco nach Manilla treiben.

Im atlantischen Ocean erstreckt sich der Passatwind im Mittel bis zum 28sten, im großen Ocean nur bis zum 25sten Grade nördlicher Breite. In der nördlichen Hälfte der heißen Zone ist die Richtung des Passatwindes eine nordöstliche; je mehr er sich aber dem Aequator nähert, desto mehr wird seine Richtung rein östlich. Die Gränze des Passats ist in der südlichen Halbkugel weniger genau bestimmt; dort aber hat der Passat eine südöstliche Richtung, die mehr und mehr östlich wird, je weiter er gegen den Aequator vordringt.

Diese Winde wehen rund um die ganze Erde, doch sind sie in der Regel erst 50 Meilen weit vom festen Lande entschieden merklich.

Da, wo der Nordostpassat der nördlichen und der Südostpassat der südlichen Hemisphäre zusammentreffen, combiniren sie sich zu einem rein östlichen Winde, der aber unmerklich wird, weil die horizontale Bewegung der durch die Intensität der Sonnenstrahlen stark erwärmten und deshalb mächtig aufsteigenden Luft eben durch diese verticale Bewegung neutralisirt wird. Es würde in diesen Gegenden eine fast vollkommene Windstille herrschen, wenn nicht die heftigen Stürme, welche die fast täglich unter Donner und Blitz stattfindenden Regengüsse begleiten, die Ruhe der Atmosphäre störten und das Wehen sanfter regelmäßiger Winde unmöglich machten.

Die Zone, welche die Passatwinde der beiden Hemisphären trennt, ist die Region der Calmen.

Auf der Karte Tab. XXIII sind die Gegenden, wo regelmäßige Winde herrschen, durch einen rothen Farbenton ausgezeichnet. Die Region der Calmen fällt, wie man sieht, nicht mit dem Aequator zusammen, sondern ihre Mitte liegt ungefähr 6° nördlich von demselben. Während unserer Sommermonate ist der Gürtel der Calmen breiter und seine nördliche Gränze entfernt sich noch vom Aequator, während gleichzeitig auch die Region des Nordostpassates weiter nach Norden rückt; die Gränzen dieser Wanderung im atlantischen Ocean ersieht man aus der folgenden kleinen Tabelle:

	Nördliche Gränze des Nordostpassats.	Nördliche Gränze der Region der Calmen.	Südliche Gränze der Region der Calmen.
Winter	$24^3/_4{}^0$ nördl. Br.	$5^3/_4{}^0$ nördl. Br.	$2^1/_2{}^0$ nördl. Br.
Frühling	28 » »	$5^3/_4$ » »	$1^1/_2$ » »
Sommer	$30^3/_4$ » »	$11^1/_3$ » »	$3^1/_4$ » »
Herbst	$28^1/_3$ » »	10 » »	$3^1/_4$ » »
Jahresmittel . .	28° nördl. Br.	$8^1/_4{}^0$ nördl. Br.	$2^2/_3{}^0$ nördl. Br.

Man sieht aus dieser Tabelle auch, daß die Südgränze der Calmenregion ihre Lage im Laufe des ganzen Jahres nur wenig ändert.

Daß die Region der Calmen auf der nördlichen Hemisphäre liegt, rührt offenbar von der Configuration der Continente her.

Schon Halley hat die Grundursache der Passatwinde richtig erkannt. Die Luft, welche in den Aequatorialgegenden stark erwärmt in die Höhe steigt, erhebt sich über die kälteren Luftmassen zu beiden Seiten und strömt oben wieder nach den Polen hin ab. Daß aber der Passatwind auf der nördlichen Halbkugel nicht ein reiner Nord-, auf der südlichen Halbkugel nicht ein reiner Südwind, sondern vielmehr Nordost und Südost ist, das ist, wie Halley später zeigte, eine Folge der Umdrehung der Erde um ihre Axe.

Je näher ein Ort der Erdoberfläche den Polen liegt, desto langsamer wird er sich in dem während 24 Stunden zu beschreibenden Kreise fortbewegen, weil dieser Kreis um so kleiner ist, je weiter man sich vom Aequator entfernt. Demnach ist auch die Rotationsgeschwindigkeit der über der Erde ruhenden Luftmasse in der Nähe der Pole geringer als am Aequator; wenn nun eine Luftmasse aus höheren Breiten dem Aequator zugeführt wird, so gelangt sie mit geringerer Rotationsgeschwindigkeit über Ländern an, welche sich schneller von Westen nach Osten bewegen; in Beziehung auf diesen unter ihr sich fortbewegenden Boden hat also die Luft eine Bewegung von Osten nach Westen. Diese Bewegung combinirt sich mit der gegen den Aequator hin fortschreitenden Bewegung auf der nördlichen Halbkugel zu einem Nordost-, auf der südlichen aber zu einem Südostwinde.

Die in den Aequatorialgegenden aufsteigende Luft fließt in der Höhe nach beiden Seiten hin ab, um sich nach den Polen hin zu ergießen. Die Richtung dieses oberen Passats ist natürlich der des unteren gerade entgegengesetzt, sie ist in der nördlichen Halbkugel eine südwestliche, in der südlichen Halbkugel eine nordwestliche.

Daß in den oberen Luftregionen wirklich ein Passat weht, welcher dem unteren entgegengesetzt ist, läßt sich durch Thatsachen beweisen; so wurde z. B. am 25. Februar 1835 bei einem Ausbruche des Vulcans von Cosiguina im Staate Guatemala die Asche bis in die Höhe des oberen Passats geschleudert, der sie in südwestlicher Richtung fortführte, so daß sie auf der Insel Jamaica niederfiel, obgleich in den unteren Luftschichten der Nordostpassat herrschte.

In größerer Entfernung vom Aequator senkt sich der obere Passat mehr und mehr gegen die Erdoberfläche. Auf dem Gipfel des Piks von Teneriffa herrschen fast immer Westwinde, während am Meeresspiegel der untere Passat weht.

Im indischen Ocean ist die Regelmäßigkeit der Passatwinde durch die Configuration der Ländermassen, welche dieses Meer umgeben, namentlich aber durch den asiatischen Continent, gestört. Im südlichen Theile des indischen Oceans, zwischen Neuholland und Madagaskar, herrscht noch das ganze Jahr hindurch der Südostpassat, in dem nördlichen Theile dieses Meeres aber weht während der einen Hälfte des Jahres ein beständiger Südwest-, während der anderen Hälfte des Jahres ein beständiger Nordostwind. Diese regelmäßig abwechselnden Winde werden Moussons genannt.

Der Süstwestwind weht vom April bis zum September, während der übrigen Monate des Jahres weht der Nordostwind.

Während in den Wintermonaten der asiatische Continent erkaltet, die Sonne aber in südlicheren Gegenden eine größere Wärme erzeugt, muß natürlich ein Nordostpassat von dem kälteren Asien nach den heißeren Gegenden wehen. In dieser Zeit ist auch im indischen Ocean der Nordostpassat von dem Südostpassat durch die Region der Calmen getrennt.

Das Wehen des Südostpassats wird zwischen Neuholland und Madagaskar nicht gestört, in den nördlichen Theilen des indischen Oceans aber, in welchen im Winter ein Nordostwind geherrscht hatte, wird dieser in einen Südwestwind verwandelt, weil sich nun der asiatische Continent so stark erwärmt und also eine Luftströmung nach Norden hin veranlaßt, welche durch die Rotation der Erde in einen Südwestwind verwandelt wird.

160 **Winde in höheren Breiten.** Der obere Passat, welcher die Luft von den Aequatorialgegenden zurückführt, senkt sich, wie schon erwähnt wurde, immer mehr und erreicht endlich als Südwestwind den Boden; außerhalb der Region der Passatwinde gehen daher die beiden Luftströmungen, welche die Luft von den Polen zum Aequator und vom Aequator zurück nach den Polen führen, nicht mehr über einander, sondern neben einander her, sie streben einander gegenseitig zu verdrängen; bald erlangt der Südwest, bald der Nordost die Ueberhand und bei dem Uebergange aus einer dieser Windrichtungen in eine andere sehen wir die Zwischenwinde nach allen Richtungen der Windrose wehen.

Obgleich auch in höheren Breiten Südwest und Nordost die herschenden Winde sind, so findet zwischen ihnen doch keine so regelmäßige periodische Abwechselung Statt wie bei den Moussons im indischen Oceane.

Die folgende Tabelle giebt die Häufigkeit der Winde in verschiedenen Ländern an; sie giebt nämlich an, wie oft im Durchschnitt unter je 1000 Tagen ein jeder der acht Hauptwinde weht.

Länder.	N.	N.-O.	O.	S.-O.	S.	S.-W.	W.	N.-W.
England	82	111	99	81	111	225	171	120
Frankreich	126	140	84	76	117	192	155	110
Deutschland....	84	98	119	87	97	185	198	131
Dänemark	65	98	100	129	92	198	161	156
Schweden.....	102	104	80	110	128	210	159	106
Rußland	99	191	81	130	98	143	166	192
Nordamerika ...	96	116	49	108	123	197	101	210

Wir sehen aus dieser Tabelle, daß im westlichen Europa die Südwestwinde entschieden vorherrschen; besonders ist dies in England der Fall. In Rußland dagegen sind die Nordost- und Nordwestwinde vorherschend.

Der Südwestwind, welcher im westlichen Europa vorherrscht, ist auch auf dem atlantischen Ocean zwischen Europa und Nordamerika der herrschende Wind, und daher kommt es, daß die Ueberfahrt von England nach Nordamerika in der Regel länger dauert als die Rückfahrt. Die Packetboote, welche zwischen Liverpool und New-York fahren, legen den Hinweg durchschnittlich in 40, den Rückweg in 23 Tagen zurück.

Dem im westlichen Europa vorherrschenden Südweststrome, welcher über die warmen Gewässer des atlantischen Oceans gestrichen ist und sich dadurch mit Wasserdämpfen beladen hat, verdankt dieses Land sein Küstenklima. Auch tritt in Europa der Charakter des Seeklimas, nämlich milde Winter und kühle Sommer mit häufigem Regen, in solchen Jahren entschiedener auf, in welchen der Südwestwind häufiger weht; in solchen Jahren hingegen, in welchen die nordöstliche Strömung länger herrscht als gewöhnlich, nähert sich der Charakter der Witterung mehr dem des Continentalklimas. So wehten z. B. im Jahre 1816 zu Paris die Nord-, Nordost-, Ost- und Südostwinde 111 Tage, die übrigen Regen bringenden Winde aber 255 Tage lang, und dieses Jahr war bekanntlich ein ungemein feuchtes; die Regenmenge betrug $54{,}5^{cm}$, die mittlere Temperatur des wärmsten Monats war nur $15{,}6^0$, die des kältesten $2{,}6^0$. Im Jahre 1826 wehten dagegen zu Paris die Nord-, Nordost-, Ost- und Südost-Winde 156 Tage, die übrigen 209 Tage lang; die Regenmenge betrug in diesem Jahre nur $47{,}2^{cm}$, die mittlere Temperatur des wärmsten Monats war $21{,}2^0$, die des kältesten — $1{,}7^0$. Das Jahr 1826 war also trockener, sein Sommer heißer, und sein Winter kälter als im Jahre 1816.

Wenn in gewissen Gegenden der nördlichen Hemisphäre die Südwestwinde die herrschenden sind, so sollte man meinen, daß in anderen Gegenden der Nordoststrom vorherrschen müsse, da doch die Luft zum Aequator zurückkehren muß. Dove meint, daß die Krümmung der Isothermen darauf hindeutet, daß über die Continente der alten und neuen Welt auf der nördlichen Halbkugel zwei nördliche Ströme gehen, über die zwischenliegenden Oceane aber zwei südliche, die sich eine gewisse Strecke weit über die Continente ausbreiten.

Die Existenz eines vorherrschenden Nordoststroms im Inneren der Continente ist jedoch von Anderen in Zweifel gezogen worden, und in der That zeigen alle bis jetzt gemachten Erfahrungen, daß in höheren Breiten der nördlichen Hemisphäre entweder Südwest- oder Westwinde vorherrschen. Es scheint darin aber ein Widerspruch zu liegen; es scheint nämlich, als ob auf diese Weise dem Pole mehr Luft zuströmt, als nach dem Aequator zurückkehrt. Dieser Widerspruch läßt sich aber heben, wenn man bedenkt, daß der Südweststrom wärmere, weniger dichte Luft mit sich führt, besonders aber, daß er eine Menge von Wasserdämpfen nach höheren Breiten bringt, welche, hier condensirt, als Regen oder Schnee niederfallen; nach dem Aequator strömt aber nur die ihres Wasserdampfes beraubte Luft in nordöstlicher Richtung zurück; es muß also in der That dem Pole eine größere Gasmenge zuströmen, weil ein Theil dieser Gase, nämlich der Wasserdampf, nicht in Gasform nach dem Aequator zurückströmt.

161 **Gesetz der Winddrehung.** Obgleich bei einer oberflächlichen Betrachtung in unseren Gegenden die Aenderungen in der Windrichtung ganz regellos zu sein scheinen, so haben doch aufmerksamere Beobachter schon lange die Bemerkung gemacht, daß die Winde in der Regel in folgender Ordnung auf einander folgen:

Süd, Südwest, West, Nordwest, Nord, Nordost, Ost, Südost, Süd.

Am regelmäßigsten läßt sich diese Drehung des Windes während des Winters beobachten; die mit diesem Umschlagen zusammenhängenden Veränderungen des Barometers und des Thermometers hat Dove sehr schön mit folgenden Worten geschildert:

»Wenn der Südwest, immer heftiger wehend, endlich vollkommen durchgedrungen ist, erhöht er die Temperatur über den Gefrierpunkt; es kann daher nicht mehr schneien, sondern es regnet, während das Barometer seinen niedrigsten Stand erreicht. Nun dreht sich der Wind nach West, und der dichte Flockenschnee beweist ebenso gut den einfallenden kälteren Wind als das rasch steigende Barometer, die Windfahne und das Thermometer. Mit Nord heitert der Himmel sich auf, mit Nordost tritt das Maximum der Kälte und des Barometers ein. Aber allmälig beginnt dieses zu fallen, und feine Cirri zeigen durch die Richtung ihres Entstehens den eben eingetretenen südlicheren Wind, den das Barometer schon bemerkt, wenn auch die Windfahne noch nichts davon weiß und noch ruhig Ost zeigt. Doch immer bestimmter verdrängt der südliche Wind den Ost von oben herab, bei entschiedenem Fallen des Quecksilbers wird die Windfahne Südost, der Himmel bezieht sich allmälig immer mehr, und mit steigender Wärme verwandelt sich der bei Südost und Süd fallende Schnee bei Südwest wieder in Regen. Nun geht es von Neuem an, und höchst charakteristisch ist der Niederschlag auf der Ostseite von dem auf der Westseite gewöhnlich durch eine kurze Aufhellung getrennt.«

Nicht immer läßt sich die Drehung des Windes so rein beobachten, wie es eben angeführt wurde, indem häufig ein Zurückspringen des Windes stattfindet; ein solches Zurückspringen wird aber weit häufiger auf der Westseite der Windrose beobachtet als auf der Ostseite. Eine vollständige Umdrehung des Windes in entgegengesetzter Richtung, nämlich von Süd nach Ost, Nord, West, wird in Europa höchst selten beobachtet.

Dove hat das Gesetz der Winddrehung auf folgende Weise erklärt:

Wird die Luft durch irgend eine Ursache von den Polen nach dem Aequator getrieben, so kommt sie von Orten, deren Rotationsgeschindigkeit geringer ist, an solche Orte, welche eine größere Rotationsgeschwindigkeit besitzen; ihre Bewegung erhält dadurch eine östliche Richtung, wie wir schon beim Passatwinde gesehen haben. Auf der nördlichen Halbkugel gehen deshalb die Winde, welche als Nordwinde entstehen, bei ihrem allmäligen Fortrücken durch Nordost in Ost über. Ist auf diese Weise ein Ostwind entstanden, so wird dieser, wenn die Ursache fortdauert, welche die Luft nach dem Aequator hintreibt, hemmend auf den Polarstrom wirken, die Luft wird die Rotationsgeschwindigkeit des Ortes annehmen, über welchem sie sich befindet, und wenn nun die Tendenz, nach dem Aequator

zu strömen, immer noch fortdauert, so springt der Wind nach Norden zurück, und dieselbe Reihe von Erscheinungen wiederholt sich.

Wenn aber, nachdem die Polarströme eine Zeitlang geherrscht haben und die Windrichtung östlich geworden ist, Aequatorialströme eintreten, so wird der Ostwind durch Südost nach Süd umschlagen. Wenn die Luft von Süden nach Norden fortströmt, so gelangt sie mit der größeren Rotationsgeschwindigkeit derjenigen Parallelkreise, welche dem Aequator näher liegen, an Orte, welche eine geringere Rotationsgeschwindigkeit haben; sie wird also der von Westen und Osten rotirenden Erdoberfläche mit noch größerer Rotationsgeschwindigkeit gleichsam voraneilen, die südliche Windrichtung wird allmälig südwestlich und dann westlich werden müssen. Bei fortdauernder Tendenz der Luft, nach dem Pole zu strömen, wird der Wind alsbald wieder nach Süd zurückspringen, gerade so, wie der Ost nach Norden zurückspringt; wenn aber die Aequatorialströmung durch eine Polarströmung verdrängt wird, so schlägt der Westwind durch Nordwest nach Norden um.

Auf der südlichen Halbkugel muß der Wind in entgegengesetzter Richtung umschlagen.

Wo in den Tropen die Passatwinde wehen, giebt es an der Erdoberfläche selbst gar keine vollständige Drehung, die Richtung des Passats wird nur bei seinem Vordringen immer mehr östlich.

In der Region der Moussons findet im Laufe eines ganzen Jahres nur eine einzige Drehung Statt. Man sieht also, daß die Windverhältnisse der Tropen der einfachste Fall des Drehungsgesetzes sind.

Barometrische und thermometrische Windrose. Es ist schon mehrfach erwähnt worden, daß die Windrichtung einen wesentlichen Einfluß auf die Höhe der Quecksilbersäule im Barometer hat. Die folgende Tabelle giebt die mittlere Barometerhöhe für jeden der acht Hauptwinde an mehreren Orten Europas in Millimetern an. 162

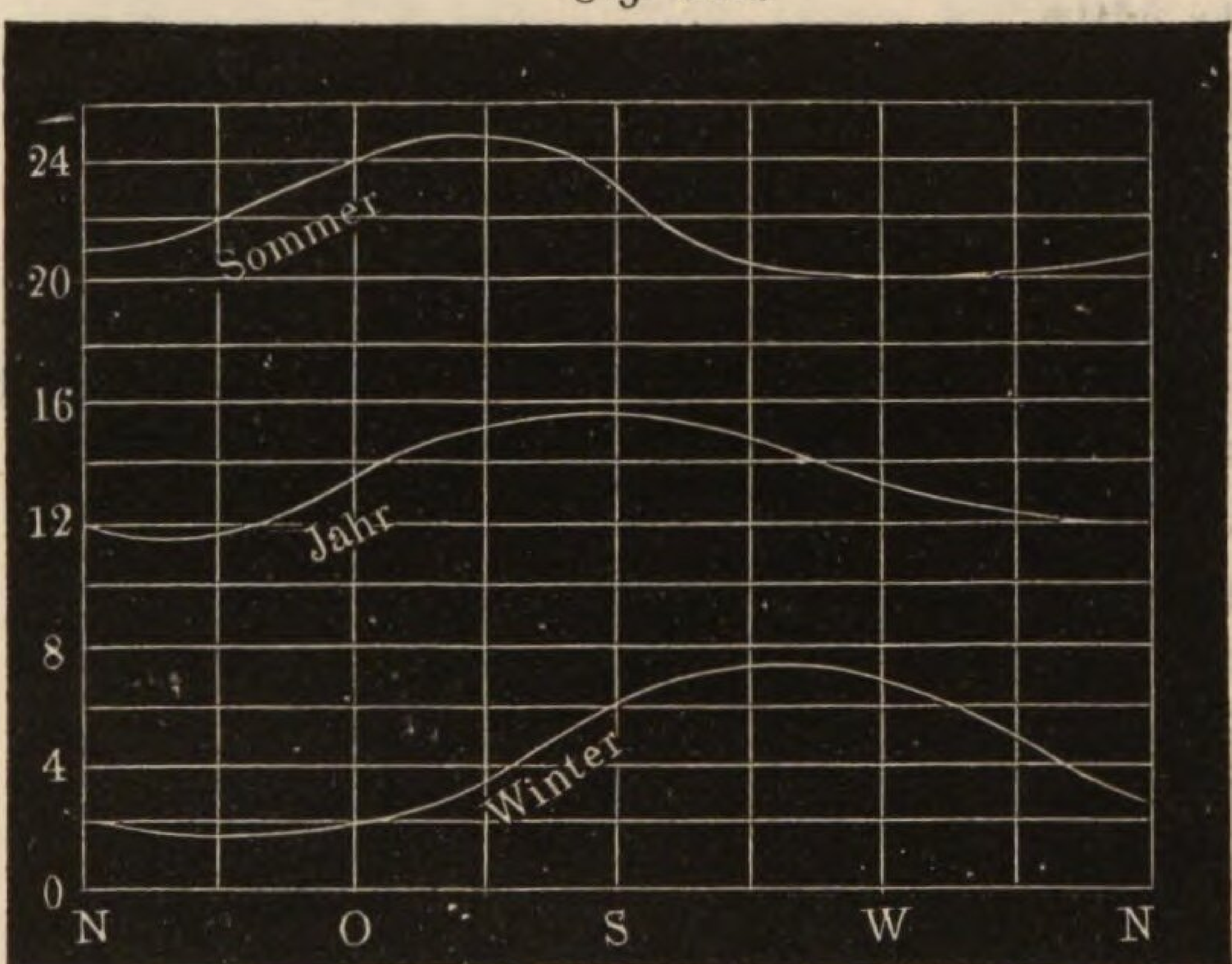
Winde.	London.	Paris.	Berlin.	Moskau.
Nord	759,20	759,09	758,68	743,07
Nordost	760,71	759,49	759,36	745,06
Ost	758,93	757,24	758,77	743,90
Südost	756,83	754,03	754,69	741,74
Süd	754,37	753,15	751,33	740,63
Südwest	755,25	753,52	752,57	740,34
West	757,28	755,57	756,00	741,06
Nordwest	758,03	757,78	756,62	741,76

Indem man die mittlere Temperatur aller derjenigen Tage nimmt, an welchen im Laufe des Jahres ein und derselbe Wind weht, erhält man die mittlere Temperatur dieses Windes. Die folgende Tabelle giebt die mittlere Temperatur der Hauptwinde für mehrere Orte an.

Winde.	Paris.	Carlsruhe.	London.	Moskau.
Nord	12,03	9,88	8,00	1,21
Nordost	11,76	8,30	7,63	1,44
Ost	13,50	8,51	8,38	3,53
Südost.	15,25	12,20	9,50	4,63
Süd	15,43	12,61	10,00	5,96
Südwest	14,93	11,00	10,13	5,69
West	13,64	12,20	9,25	5,49
Nordwest	12,39	11,50	8,38	3,33

Nach dieser Tabelle ist für Paris die mittlere der drei Curven in Fig. 213 construirt. Man sieht, wie für Paris, sowie für die anderen angeführten Orte, die Temperatur der Luft im Durchschnitt für die nördlichen Winde niedriger ist als für die südlichen.

Fig. 213.



Die oberste und unterste der drei Curven zeigen, wie sich im Durchschnitt die mittlere Temperatur im Sommer und im Winter zu Paris (und im westlichen Europa überhaupt) mit der Windrichtung ändert. Es zeigt sich hier zwischen Sommer und Winter ein entschiedener Gegensatz. Im Sommer bringen Südwest-, West- und Nordwestwinde die niedrigste Temperatur, während im Winter gerade die Südwest- und Westwinde eine Erhöhung der Lufttemperatur zur Folge haben, und die größte Kälte bei Nord-, Nordost- und Ostwinden stattfindet. Der Grund davon ist leicht einzusehen. Die westlichen Winde kommen über das Meer zu uns und überziehen den Himmel meistens mit einer Wolkendecke, welche sowohl die Erwärmung des Bodens durch die Sonnenstrahlen bei Tag, als auch die Erkaltung desselben durch Ausstrahlung der Wärme bei Nacht verhindert. Im Sommer ist die Wirkung der Sonnenstrahlen bei Tag, im Winter dagegen ist die nächtliche Strahlung überwiegend, die Wolkenhülle hindert also

im Sommer die stärkere Erwärmung, im Winter die stärkere Erkaltung des Bodens. Dagegen werden im Sommer diejenigen Winde eine größere Wärme bringen, welche den Himmel heiter machen, während im Winter gerade bei heiterem Himmel die größte Kälte eintreten muß.

Heiße Winde. Da die Luft ihre Wärme von dem Boden empfängt, 163
auf welchem sie ruht, so ist es begreiflich, daß die Temperatur der Winde von der Beschaffenheit der Gegenden abhängt, von welchen sie herkommen. Winde, welche von den mit Schnee und Eis bedeckten Polar-Gegenden kommen, bringen eine niedrige Temperatur mit, und selbst im Sommer ist in unseren Gegenden der erkaltende Einfluß der Nordostwinde nicht ganz verwischt. Obgleich der Nordost den Himmel heiter macht und die kraftvolle Einwirkung der Sonnenstrahlen in dieser Jahreszeit ermöglicht, so findet um diese Zeit doch die größte Hitze Statt, wenn Ost- und Südostwinde wehen.

Die Meeresoberfläche wirkt im Allgemeinen ermäßigend auf die Temperatur der Luft, weil das Wasser selbst die Wärmestrahlen weniger absorbirt als das Festland, und weil eine bedeutende Wärmemenge bei der auf dem Meere fortwährend stattfindenden Verdunstung gebunden wird.

Wo die Sonnenstrahlen nahe rechtwinklig auf einen nicht durch eine Pflanzendecke geschützten Fels- oder Sandboden fallen, da wird der Boden außerordentlich stark erhitzt werden, und diese hohe Temperatur wird sich auch der Luft mittheilen, welche auf dem erhitzten Boden ruht; es ist deshalb begreiflich, daß die Winde, welche von vegetationslosen Wüsten der Tropen oder ihren benachbarten Landstrichen kommen, sich durch eine hohe Temperatur auszeichnen.

Die von der Wüste her wehenden heißen und trockenen Winde führen in verschiedenen Gegenden verschiedene Namen. In Arabien, Persien und den meisten Gegenden des Orients wird dieser heiße Wind Samum (Giftwind) genannt, in Aegypten, wo er im Frühjahr ungefähr 50 Tage lang weht, heißt er Chamsin (fünfzig), an den westlichen Gränzen der Sahara in Senegambien und Guinea führt er den Namen Harmattan.

Alle Berichte stimmen darin überein, daß sich die Annährung der Wüstenwinde schon durch eine Verdüsterung des sonst in jenen Gegenden reinen Horizontes ankündigt. Die Luft verliert ihre Durchsichtigkeit, die Sonne ihren Glanz und, blasser als der Mond, wirft sie keinen Schatten mehr, das Grün der Bäume erscheint als schmutziges Blau. Es rührt dies von den Sand- und Staubtheilchen her, welche der Sturm in die Höhe jagt und mit sich fortführt. Gerade dieser Umstand aber trägt dazu bei, die Temperatur der Luft so sehr zu erhöhen; denn wenn der oft bis zu 50° R. erhitzte Sand in die Höhe gejagt wird, so geben die einzelnen Sandkörnchen bald einen Theil ihrer Wärme an die Luft ab, deren Temperatur dadurch auf 34 bis 38° R. steigt. Dazu ist die Luft ungemein trocken; deshalb verschwindet rasch der Schweiß von der Oberfläche des Körpers, der Gaumen wird trocken, die Respiration schwierig. Ebenso ist das Wasser, welches die Reisenden der Wüste in Schläuchen mit sich führen, unter dem Einfluß des Samums einer raschen Verdunstung ausgesetzt. Nur durch diese Trockenheit, nicht etwa durch eigenthümlich giftige Bestandtheile, wie man

wohl früher glaubte, ist der Samum gefährlich. (Kämtz, Meteorologie, 1. Bd. S. 267.)

In ähnlicher Weise wie bei den Sandwüsten von Asien und Afrika zeigen sich heiße Winde überall da, wo mehr oder weniger vegetationslose Landstriche eine starke Erhitzung des Bodens gestatten. So sind in Neuholland die vom Lande her kommenden Winde fast immer sehr trocken und heiß.

Im südlichen Europa finden wir noch sehr heiße Winde, so den Solano im südlichen Spanien und den Sirocco in Italien, welcher zu Palermo öfters das Thermometer im Schatten bis auf 36° R. steigen macht. Diese Winde kommen von Afrika her. Auf dem Wege über das Meer verlieren sie zwar etwas von ihrer hohen Temperatur und namentlich von ihrer Trockenheit, allein in den Ebenen von Andalusien und über den nackten Felsen von Sicilien werden sie aufs Neue erhitzt, und so kommt es denn, daß der Sirocco zu Palermo weit heißer ist als an den Südküsten von Sicilien und auf der Insel Malta. Bis zu den Alpen hin, wo er unter dem Namen des Föhn bekannt ist, behält dieser Wind eine ungemein hohe Temperatur, vermöge welcher er bedeutend zum Schmelzen der Schneemassen in jenen Gebirgen beiträgt.

164 **Stürme.** Die Geschwindigkeit des Windes ist eine sehr veränderliche Größe. Ein Wind, dessen Geschwindigkeit nicht über 4 Fuß in der Secunde beträgt, ist kaum merklich. Bei einer Geschwindigkeit von 6 bis 8 Fuß in der Secunde ist der Wind angenehm. Ein starker Wind hat 30 bis 40, ein heftiger Wind hat 40 bis 60 Fuß Geschwindigkeit in der Secunde. Geht die Geschwindigkeit des Windes über diese Gränze hinaus, so wird er Sturm genannt. Die stärksten Stürme, deren Geschwindigkeit 120 bis 150 Fuß in der Secunde (30 bis 37 deutsche Meilen in der Stunde) beträgt, werden mit dem Namen Orkane bezeichnet.

Von der mechanischen Gewalt eines solchen Orkanes kann man sich einen Begriff machen, wenn man bedenkt, daß er bei der angegebenen Geschwindigkeit gegen eine Oberfläche von 1 Quadratfuß, welche der Richtung des Sturmes rechtwinklig entgegengesetzt ist, einen Druck von 30 bis 50 Pfunden ausübt.

Furchtbar sind in der That die Verheerungen, welche solche Stürme anrichten. Der große Sturm, welcher in der Nacht vom 26. auf den 27. November 1703 Frankreich, England und die Niederlande heimsuchte, stürzte in England 800 Häuser und 400 Windmühlen um; durch denselben wurde 250,000 mächtige Baumstämme zersplittert oder entwurzelt, 100 Kirchen abgedeckt und der Leuchtthurm von Eddystone umgeworfen; 300 Schiffe gingen an der Küste zu Grunde.

Im November 1836 wüthete ein Sturm an den Küsten von Frankreich und Belgien. In Ostende war kaum ein Haus, welches nicht entdacht gewesen wäre, und so groß war der Bedarf an Ziegeln, daß ihr Preis von 16 auf 30 Gulden fürs Tausend stieg.

Noch weit furchtbarer ist die Gewalt der Orkane in der heißen Zone. Westindien wird sehr häufig von Stürmen heimgesucht, welche unter dem spanischen Namen Tornados (Drehstürme) oder dem englischen Hurricanes bekannt sind. Nach einem Sturme, welcher am 2. August 1837 einen Theil der westindischen

Inseln verwüstete, sperrten die Trümmer von 36 Schiffen den Hafen von St. Thomas; das Fort am Eingang desselben war so zerstört, als ob es durch eine Batterie eingeschossen worden wäre; Vierundzwanzigpfünder waren von den Wällen heruntergerissen. In St. Bartholome wurden durch diesen Sturm 250 Gebäude zerstört, und von den 33 in Portorico vor Anker liegenden Schiffen konnte keines gerettet werden, obschon man, durch das bedeutende Sinken des Barometers gewarnt, alle möglichen Vorsichtsmaßregeln getroffen hatte.

Am 10. August 1831 wurde Barbadoes von einem Sturm getroffen, welcher die Umgebung von Bridgetown in eine Wüste verwandelte. Bis auf einige Flecken welken Grüns war alle Vegetation vernichtet. Einige wenige Bäume, welche stehen geblieben waren, gewährten, ihrer Blätter und Zweige beraubt, einen kalten winterlichen Anblick und die zahlreichen Landsitze in der Nähe von Bridgetown, vorher von dichten Gebüschen beschattet, lagen nun frei in Trümmern.

Verminderung des Luftdrucks bei Stürmen. Der tiefste Punkt 165
der Witterungsscala an unseren gewöhnlichen Zimmerbarometern ist mit »Sturm« bezeichnet, und in der That sind die Stürme stets von einer bedeutenden Verminderung des Luftdrucks begleitet. Während des erwähnten Sturmes vom 2. August 1837 sank zu Portorico das Barometer um 18, zu St. Thomas um 21 Linien. Auf St. Mauritius stand das Barometer am 6. März 1836 Morgens 5 Uhr noch auf 337‴ und fiel bis zum 8. März um 8 Uhr bis auf 318‴, während ein furchtbarer Orkan auf der Insel hauste.

Am 18. Januar 1818 fiel das ohnehin schon tief stehende Barometer zu Königsberg um 8 Linien, während ein Sturm von den englischen Küsten bis Memel, auf einer Strecke von 240 Meilen Länge und 41 Meilen Breite, seine verwüstende Kraft äußerte.

Am Weihnachtsabend des Jahres 1821 sank während eines heftigen Sturmes das Barometer zu Brest um 22, zu London um 22, zu Harlem und Paris um 18, zu Straßburg um 16, zu Berlin und Genf um 13 Linien unter den mittleren Stand.

Scoresby empfiehlt den Seeleuten dringend den Gebrauch des Barometers. Durch ein Fallen seines Schiffsbarometers um 9,3 Linien aufmerksam gemacht, entrann er am 5. April 1819 in der Baffinsbai den Gefahren eines zwei Tage lang wüthenden Sturmes.

Jedenfalls sind die Stürme stets die Folge einer bedeutenden Störung im Gleichgewicht der Atmosphäre, und höchst wahrscheinlich rührt diese Störung von einer raschen Condensation der Wasserdämpfe her. Durch eine solche Condensation wird aber nicht bloß unmittelbar eine Luftverdünnung erzeugt, sondern auch, weil bei Rückkehr der Dämpfe aus dem gasförmigen in den tropfbar flüssigen Zustand stets viel Wärme frei wird, ein mächtig aufsteigender Luftstrom, in Folge dessen dann von allen Seiten die Luft mit Gewalt nach den Orten der Verdünnung hinströmt, während das Minimum des Luftdruckes selbst eine fortschreitende Bewegung hat.

Dies ist die Erklärung, welche **Brandes** von der Entstehung der Stürme gegeben hat. **Dove** hat aber nachgewiesen, daß diese Theorie einer wesentlichen Modificirung bedarf, wenn sie mit der Erfahrung in Uebereinstimmung gebracht werden soll; er hat gezeigt, daß die Windrichtung, wie man sie zu Anfang und zu Ende des Sturmes beobachtet, nicht mit der Annahme eines einfachen, geradlinigen Hinströmens der Luft nach dem Orte der größten Luftverdünnung harmonirt, daß vielmehr die Luft um das im Raum fortschreitende barometrische Minimum rotirt, kurz, daß die Stürme **Wirbel** im großartigsten Maßstabe sind.

Während des Sturmes vom 24. auf den 25. December 1821 schritt das Minimum des Luftdrucks von **Brest** bis zum **Cap Lindenäs** (an der Südspitze von Norwegen), also in der Richtung des Pfeils *AC*, Fig. 214, vor.

Fig. 214.



Nach der früheren Theorie hätte also in London zu Anfang des Sturmes ein **Nordost**, zu Ende desselben ein **Südwest** wehen müssen, während in der

That zu London die Windfahne anfangs Südost zeigte und dann rasch in Nordwest umschlug.

Nach Dove's Sturmtheorie schreiten in der nördlichen gemäßigten Zone bei Stürmen die barometrischen Minima, also die Mittelpunkte der Wirbelbewegung in der Richtung von Südwest nach Nordost vorwärts, wobei die Rotationsrichtung die in der Figur angedeutete ist, nämlich entgegengesetzt dem Laufe des Zeigers einer Uhr. — Nach dieser Theorie mußte in der That London Südostwind haben, als die Luft um den Punkt *A* wirbelte, dagegen mußte in London Nordwest wehen, nachdem *B* und später *C* der Mittelpunkt der Wirbelbewegung geworden war.

Südöstlich von dem Wege, auf welchem die Mittelpunkte der Wirbel fortschreiten, muß nach Dove's Theorie, wie man aus der Betrachtung des Punktes *o*, Fig. 214, ersieht, der Wind zu Anfang des Sturms mit SSO einsetzen und dann durch S, SW, W nach WNW umschlagen, wie es zu Harlem wirklich stattfand. In Orten, welche von dem Mittelpunkte des Sturms entfernter liegen, wie *r* oder *s*, muß der Wind nach der Theorie zu Anfang des Sturms S oder SSW, zu Ende desselben WSW sein, und in der That drehte sich zu Karlsruhe während des Sturms die Windfahne von S nach SW.

Auf der Nordwestseite des Sturmes schlägt der Wind von OSO durch O, NO, N nach NNW um.

Für die Seefahrer ergeben sich daraus folgende praktische Regeln, um in der nördlichen gemäßigten Zone so viel als möglich dem Bereich eines sie treffenden Wirbelsturmes zu entgehen: Wenn bei stark fallendem Barometer der Wind als Südost einsetzt und sich durch Süd nach West hindreht, so muß das Schiff nach Südost hinsteuern; setzt hingegen der Wind in östlicher Richtung ein, um nach Nord hin umzuschlagen, so muß das Schiff nach Nordwesten steuern (Dove in Poggend. Annal. LII.)

Redfield in New-York ist durch sorgfältige Untersuchung der Erscheinungen, welche die an den Küsten der Vereinigten Staaten häufigen Stürme begleiten, ganz zu denselben Resultaten gelangt, welche Dove für Europa erhalten hatte.

Richtung der Stürme in der heißen Zone. Ueber die tropischen Stürme hat Reid, Gouverneur der Bermudas-Inseln, ein reiches Material in einem Werke niedergelegt, welches im Jahre 1838 zu London unter dem Titel: »An attempt to develop the law of storms« u. s. w. erschien Aus Reid's Untersuchungen ergiebt sich, daß auch die Stürme der tropischen Zone Wirbel sind. 166

Die Richtung, in welcher die Wirbel rotiren, ist für die nördliche Hälfte der heißen Zone dieselbe, wie die im vorigen Paragraphen betrachtete; dagegen schreiten die westindischen Hurrikans in der Richtung von Südost nach Nordwest vor, so lange sie in der tropischen Zone bleiben; sobald sie aber in die gemäßigte Zone gelangen, biegen sie fast rechtwinklig um und gehen nun von Südwest nach Nordost, wie man dies auf dem Kärtchen Fig. 215 (a. f. S.) sieht,

welches den Verlauf des Sturmes darstellt, welcher in der Mitte August 1837 die östlichsten der westindischen Inseln traf.

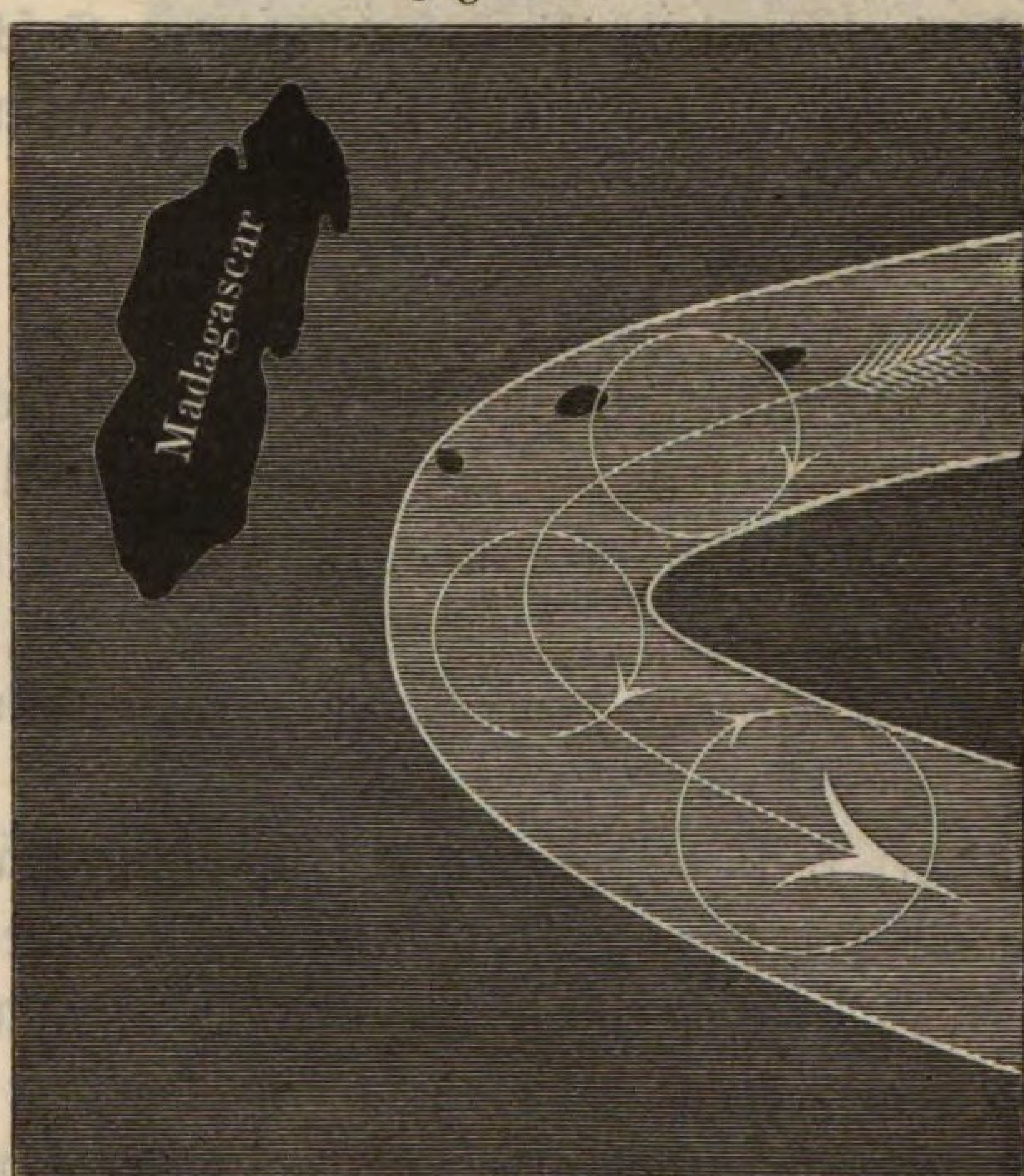
Fig. 215.



Von den zahlreichen Beispielen, welche Reid für dieses Verhalten der westindischen Stürme beibringt, wollen wir nur noch eines anführen. Der dicht bei den kleinen Antillen vorbeistreifende Sturm vom August 1830 traf St. Thomas am 12., war am 13. in der Nähe der Turks-Inseln, am 14. bei den Bahamas, am 15. an den Küsten von Florida, am 16. längs der Küste von Georgien und Carolina, am 17. an denen von Virginien, Maryland und Newyork, am 18. auf der Georgsbank und Cap Sable, am 19. auf der New-Foundlandsbank. Das Fortrücken dieses Sturmes betrug also im Durchschnitt $13^1/_2$ deutsche Meile in der Stunde. Die Geschwindigkeit, mit welcher der Sturm überhaupt fortschreitet, ist übrigens wohl zu unterscheiden von der ungleich größeren Geschwindigkeit, mit welcher die Luft in den Wirbeln fortgerissen wird.

Auf der südlichen Hemisphäre ist die Richtung der Sturmwirbel die entgegengesetzte von der bisher betrachteten. Innerhalb der tropischen Zone geht das Minimum des Luftdrucks in der Richtung von Nordost nach Südwest voran, biegt aber beim Uebergang in die südliche gemäßigte Zone in die nordwestliche Richtung um, wie das Kärtchen Fig. 216 zeigt, welches den Verlauf eines Sturmes darstellt, welcher im März 1809 die Insel St. Mauritius traf.

Fig. 216.



Die unter dem Namen der Tyfoons in den chinesischen Meeren bekannten Stürme schreiten von O nach W oder von OSO nach WNW fort, während die Rotationsrichtung der Wirbel dieselbe ist wie auf dem nördlichen atlantischen Ocean.

Tromben und Wasserhosen. Wir haben bisher nur Wirbelwinde 167
im großartigsten Maßstabe betrachtet; ganz ähnliche Erscheinungen finden aber auch im kleinsten Maßstabe Statt. Oft sieht man an heißen Sommertagen bei sonst ruhigem Wetter, daß Sand und Staub durch den Wind in wirbelnder Bewegung fortgeführt werden. Bei herannahenden Gewittern sieht man schon größere Luftwirbel der Art, welche außer Staub und Sand noch Blätter, Stroh, kleine Baumzweige u. s. w. mit in die Höhe nehmen. Wirbelwinde von größeren Dimensionen und größerer mechanischer Gewalt werden Tromben genannt. Wahrscheinlich werden sie durch den Kampf zweier in den oberen Luftregionen in entgegengesetzter Richtung wehenden Winde erzeugt. Wenn solche Wirbel über Land hinwegziehen, so bilden sie aus dem aufgewühlten Sand einen oben an Breite abnehmenden Kegel, welcher den Weg des Wirbels von weitem sichtbar macht; zieht aber das Meteor über das Meer, Seen oder Flüsse hin, so wird in gleicher Weise das Wasser in wirbelnder Bewegung mit in die Höhe gerissen, und so entstehen die Wassertromben oder Wasserhosen.

Solche Tromben sind im Stande, Bäume zu entwurzeln, Häuser abzudecken, Balken mehrere hundert Schritte weit fortzuschleudern. Mohr giebt im 36. Bande von Poggendorff's Annalen eine sehr instructive Beschreibung einer am 1. Mai 1835 zu Koblenz beobachteten Trombe, welcher wir Folgendes entnehmen:

Um halb drei Uhr bildete sich am Fuße des Alexander-Forts, im Felde von Neuendorf, ein Wirbelwind, der rasch zu einer fürchterlichen Stärke heranwuchs, Sand und Staub aufwühlte und mit sich fortführte. Er nahm seine Richtung von Nordwest nach Südost, gerade auf die Landspitze zu, welche das linke Rhein- und das linke Moselufer mit einander bilden. Eine Frau, welche mit einem Korbe auf dem Kopfe aus dem Felde kam, wurde durch die Trombe zu Boden geworfen und der Korb hoch durch die Luft auf die andere Rheinseite fortgeführt. Die Staubwolke, welche wirbelnd über die Erde fortzog, war grau von Farbe und undurchsichtig. Sie hatte eine schräge Lage nach der Strömung des Windes, in den höheren Regionen mit dem oberen und breiteren Theile nach vorn, den unteren schmäleren gleichsam nach sich ziehend. Sie hatte die scheinbare Form eines Trichters, dessen Spitze nach unten gekehrt einen Durchmesser von 30 bis 40 Fuß hatte, dessen oberer Durchmesser aber 3- bis 4mal so groß war. Die Höhe hatte bald alle nahe gelegenen Häuser weit überstiegen.

Die Bewegung dieser Trombe war von einem fürchterlichen Sausen begleitet. Der erste höhere Gegenstand, welchen sie traf, war eine Saffianfabrik. Unter fürchterlichem Geprassel wurde das Dach des hinteren Gebäudes losgerissen und über das Hauptgebäude hinweg etwa 40 Schritte weit ins Feld geschleudert. Fenster wurden zertrümmert, Laden und Fensterflügel herausgerissen und Alles weit umhergestreut. Die auf dem Speicher aufgehangenen Häute wurden von der Trombe fortgerissen, so daß man sie wie schwarze Vögel hoch in den Lüften dahinfliegen sah.

Von da bewegte sich die Trombe rasch gegen die etwa noch 100 Schritte entfernte Mosel hin, wo sich das ganze Schauspiel veränderte. Die Erdtrombe wurde nämlich eine Wasserhose; sie wühlte das Wasser in so wil-

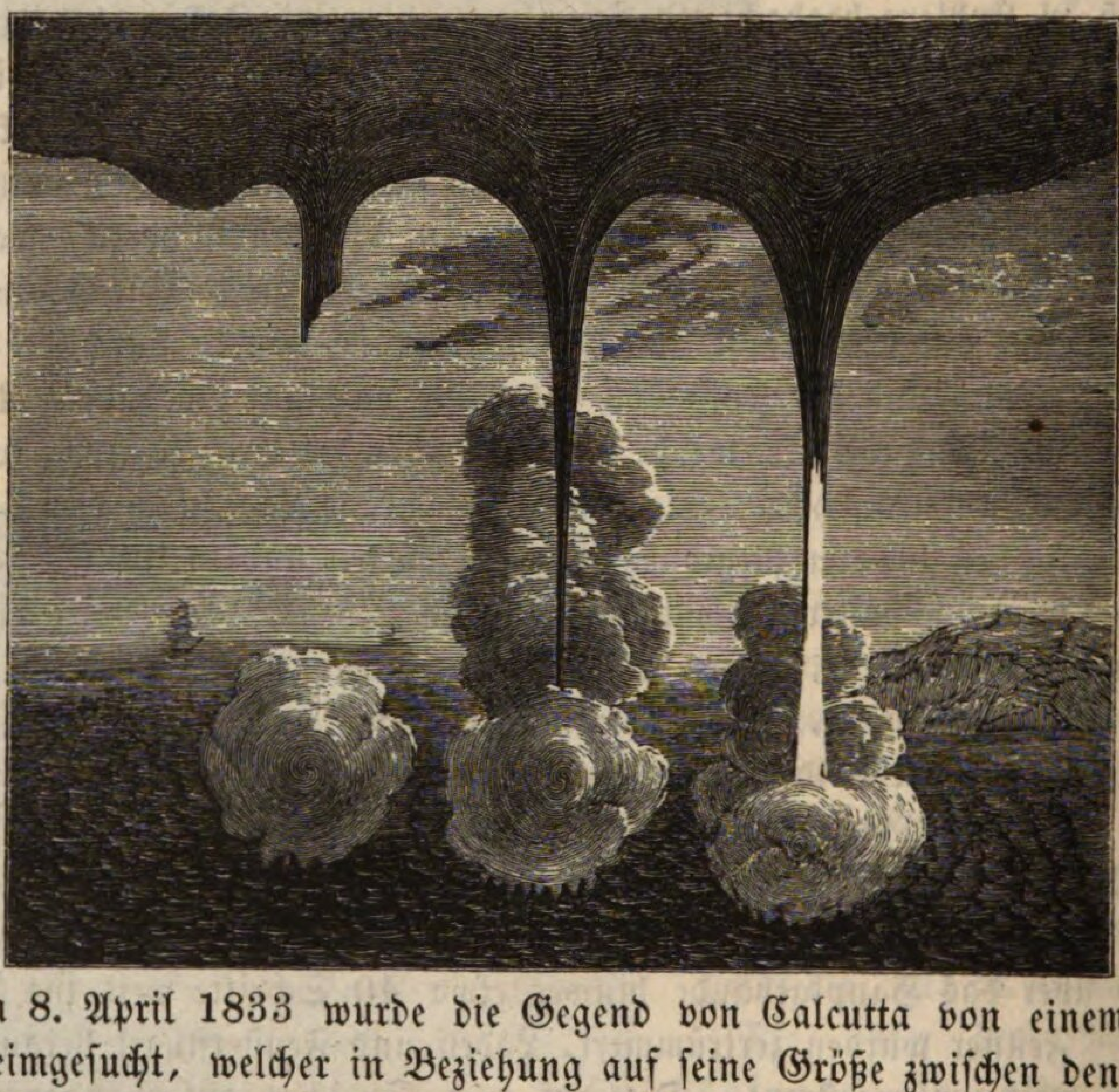
dem Brausen auf, daß es auf der ganzen Basis schäumend auf eine bedeutende Höhe wirbelnd hinaufgezogen wurde, während außerhalb des Wirkungskreises der Wasserspiegel weder gestört noch getrübt wurde. Der Durchmesser des Trichters nahm über die Hälfte des Flußbettes ein. Auf der Landspitze angekommen, welche das rechte Mosel- mit dem linken Rheinufer bildet, an der Ecke des ehemaligen deutschen Hauses, schien das Meteor einige Augenblicke stille zu stehen, setzte aber alsbald seinen Weg in gerader Richtung über den Rhein gegen Ehrenbreitstein hin fort.

Auf der rechten Rheinseite angekommen, warf es das Wasser 8 bis 10 Fuß hoch auf das Land, nahm ein 60 Ellen langes Stück Leinen von der Bleiche hoch in die Luft, so daß man es wie eine Bandschleife umherflattern sah. Sieben Bäume von 6 bis 8 Zoll Durchmesser wurden abgebrochen, Aeste von 4 bis 6 Zoll Dicke abgerissen und umhergeschleudert, womit dann das Meteor so ziemlich sein Ende erreichte.

Wenige Minuten nach dem Aufhören desselben fiel ein heftiger Platzregen mit starkem Hagel.

Fig. 217 stellt eine Wasserhose dar, wie man sie auf dem Meere beobachtet.

Fig. 217.



Am 8. April 1833 wurde die Gegend von Calcutta von einem Wirbelwinde heimgesucht, welcher in Beziehung auf seine Größe zwischen den eigentlichen Stürmen und den Tromben in der Mitte steht. Bei einem Durchmesser von 1200 bis 2500 Fuß ging dieser Wirbel 3 englische Meilen östlich von Calcutta vorüber und legte in einem Zeitraume von 4 Stunden einen Weg von 16 englischen Meilen zurück. Er warf über 1200 Fischerhäuser um und tödtete 215 Menschen.

Drittes Capitel.

Die Hydrometeore.

Verbreitung des Wasserdampfes in der Luft. Wenn man an einem heißen Sommertage eine mit Wasser gefüllte Schale ins Freie stellt, so sieht man die Quantität des Wassers rasch abnehmen; es verdunstet, das heißt: es geht in Dampfgestalt über und verbreitet sich in der Luft. Der Wasserdampf ist wie jedes andere farblose durchsichtige Gas für unsere Blicke nicht wahrnehmbar, das Wasser scheint, indem es verdunstet, gänzlich verschwunden zu sein. 168

Das in der Luft verbreitete Wasser wird erst wieder sichtbar, wenn es, in seinen flüssigen Zustand zurückkehrend, Nebel oder Wolken, Thau oder Reif bildet. Wenn man sich von der Existenz des Wasserdampfs in der Luft überzeugen will, muß man ihn auf irgend eine Weise verdichten.

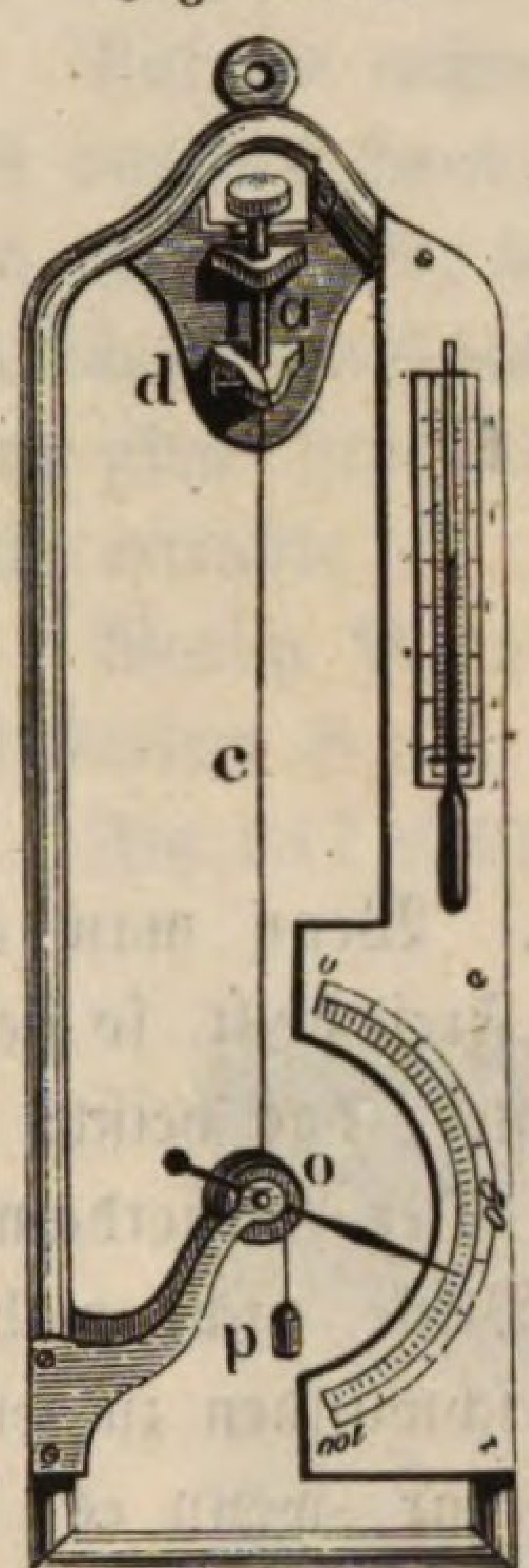
Ganz unmittelbar erhält man die Menge des in einem bestimmten Volumen Luft enthaltenen Wasserdampfs, wenn man die Luft durch ein mit hygroskopischen Substanzen gefülltes Rohr saugt. Um ein regelmäßiges Durchstreichen der Luft durch das Absorptionsrohr zu bewirken, wendet man einen Aspirator an. Es ist dies im Wesentlichen ein bis auf zwei Oeffnungen verschlossenes mit Wasser gefülltes Gefäß; aus der einen Oeffnung fließt durch ein Rohr beständig Wasser ab, die andere Oeffnung ist mit dem Absorptionsrohre in Verbindung, so daß hier ein dem ausfließenden Wasser gleiches Volum getrockneter Luft eintritt. Wie viel Wasserdampf in der durch das Absorptionsrohr gesaugten Luftmenge enthalten war, ergiebt sich, wenn man dies Rohr vor und nach dem Versuche wägt.

Die Bestimmungsweise des Wassergehaltes der Luft mit dem Aspirator, dem man verschiedene, bald mehr, bald weniger zweckmäßige Formen gegeben hat, ist allerdings etwas umständlich und giebt auch nicht den Wassergehalt der Luft in einem bestimmten Momente, sondern den mittleren Wassergehalt während der ganzen Dauer des Versuches; man hat deshalb kleinere, leichter transportable Apparate construirt, welche unter dem Namen der Hygrometer bekannt sind.

Es ist bekannt, daß viele organische Körper die Eigenschaft haben, Wasserdampf zu absorbiren und sich dabei verhältnißmäßig zu verlängern. Unter anderen sind auch Haare, Fischbein u. s. w. solche hygroskopische Körper, und man benutzte sie deshalb zur Construction von Hygrometern. Das beste Instrument der Art ist das von Saussure angegebene Haarhygrometer, welches Fig. 218 abgebildet ist.

Das Haar *c* ist mit seinem oberen Ende im Zängelchen *a* befestigt, das andere Ende desselben aber ist um eine mit zwei Rinnen versehene Rolle geschlungen, während in der anderen Rinne um die Rolle ein Seidenfaden geschlungen ist, woran ein kleines Gewicht *p* hängt, durch welches das Haar beständig gespannt erhalten wird. An der Axe der Rolle ist ein Zeiger befestigt, welcher auf einem Gradbogen hin und her geht, wenn die Rolle durch die Verlängerung oder Verkürzung des Haares gedreht wird.

Fig. 218.



Die Schraube am oberen Theile des Apparates dient, um die Spannung des Haares zu reguliren.

Wenn sich das Instrument in feuchter Luft befindet, so absorbirt das Haar viel Wasserdampf und wird dadurch länger, in trockener Luft aber verkürzt es sich, wodurch natürlich der Zeiger bald nach der einen, bald nach der anderen Seite gedreht wird.

Die Graduirung des Instruments wird auf folgende Weise bewerkstelligt. Zuerst bringt man das Instrument unter eine Glocke, deren innerer Raum durch Chlorcalcium oder durch Schwefelsäure ausgetrocknet wird. Die Stelle der Scala, auf welcher sich der Zeiger unter diesen Verhältnissen feststellt, ist der Punkt der größten Trockenheit; er wird mit 0 bezeichnet.

Nun bringt man das Instrument unter eine Glocke, deren Wände mit destillirtem Wasser befeuchtet sind, während auch auf dem Boden, auf welchem die Glocke steht, destillirtes Wasser ausgebreitet ist. Der Raum unter der Glocke sättigt sich bald mit Wasserdampf, und der Zeiger geht nach dem anderen Ende der Scala hin. Der Punkt, wo er sich jetzt feststellt, ist der Punkt der größten Feuchtigkeit; er wird mit 100 bezeichnet.

Der Zwischenraum zwischen diesen beiden Punkten wird in 100 gleiche Theile getheilt, welche man Feuchtigkeitsgrade nennt.

Das auf diese Weise graduirte Hygrometer giebt zwar die äußerste Trockenheit oder Feuchtigkeit der Luft an, es zeigt, ob sich die Luft dem Sättigungspunkte mehr oder weniger nähert, man kann aber aus den Hygrometergraden keinen directen Schluß auf die Menge des Wasserdampfes in der Atmosphäre machen. Wie groß die jedem Hygrometergrade entsprechende Spannkraft des Wasserdampfes in der Luft ist, kann nur auf empirischem Wege ermittelt werden.

Gay-Lussac verfuhr folgendermaßen: Er bestimmte zunächst das Maxi-

mum der Spannkraft des Wasserdampfes, welcher sich bei einer Temperatur von 10° über verschiedenen Salzlösungen bilden kann. Alsdann brachte er sein Instrument bei derselben Temperatur der Reihe nach mit diesen Flüssigkeiten unter die Glocke und notirte jedesmal die Grade, bei welchen sich das Instrument einstellte. Die folgende Tabelle enthält die Resultate dieser Versuche.

Namen der Flüssigkeit.	Specifisches Gewicht bei 10° C.	Spannkraft des Dampfes, wenn man die Spannkraft des Wasserdampfes bei 10° mit 100 bezeichnet.	Grade des Haarhygrometers, bei welchen sich der Zeiger für die verschiedenen Flüssigkeiten einstellte.
Wasser	1,000	100,0	100,0
Lösung von salzsaurem Natron	1,096	90,6	97,7
desgl.	1,163	82,3	92,2
desgl.	1,205	75,9	87,4
Lösung von salzsaurem Kalk . .	1,275	66,0	82,0
desgl	1,343	50.5	71,0
desgl.	1,397	37,6	61,3
Schwefelsäure	1,493	18,1	33,1
desgl.	1,541	12,2	25,3
desgl.	1,702	2,4	6,1
desgl	1,848	0	0

Er fand also z. B., daß bei 10° die Wasserdämpfe über einer Auflösung von Chlorcalcium, deren specifisches Gewicht 1,275 ist, 66 Proc. von der Spannkraft der Wasserdämpfe besitzen, welche bei derselben Temperatur über reinem Wasser sich bilden; wenn aber das Hygrometer unter eine Glocke gebracht wird, deren Wände mit dieser Lösung befeuchtet sind, so stellt es sich auf 82 Grad; man kann daraus den Schluß ziehen, daß der Theilstrich 82 des Hygrometers einen Feuchtigkeitsgehalt der Luft anzeigt, welcher 66 Procent des zur Sättigung nöthigen beträgt. Nach diesen Beobachtungen hat Gay-Lussac durch Interpolation eine Tabelle berechnet, welche den jedem einzelnen Hygrometergrade entsprechenden Feuchtigkeitsgehalt der Luft angiebt. Wir geben umstehend diese Tabelle nur von 10 zu 10 Grad.

Hygrometergrade.	Entsprechende Feuchtigkeit der Luft.	Hygrometergrade.	Entsprechende Feuchtigkeit der Luft.
0	0	60	36,28
10	4,57	70	47,19
20	9,45	80	61,22
30	14,78	90	79,09
40	20,78	100	100,00
50	27,79		

Wenn also das Hygrometer auf 60° steht, so enthält die Luft 36,28 Procent desjenigen Wasserdampfes, welchen sie enthalten müßte, um gesättigt zu sein.

Diese Tabelle ist jedoch nur für Temperaturen ganz zulässig, welche nicht viel von 10° verschieden sind.

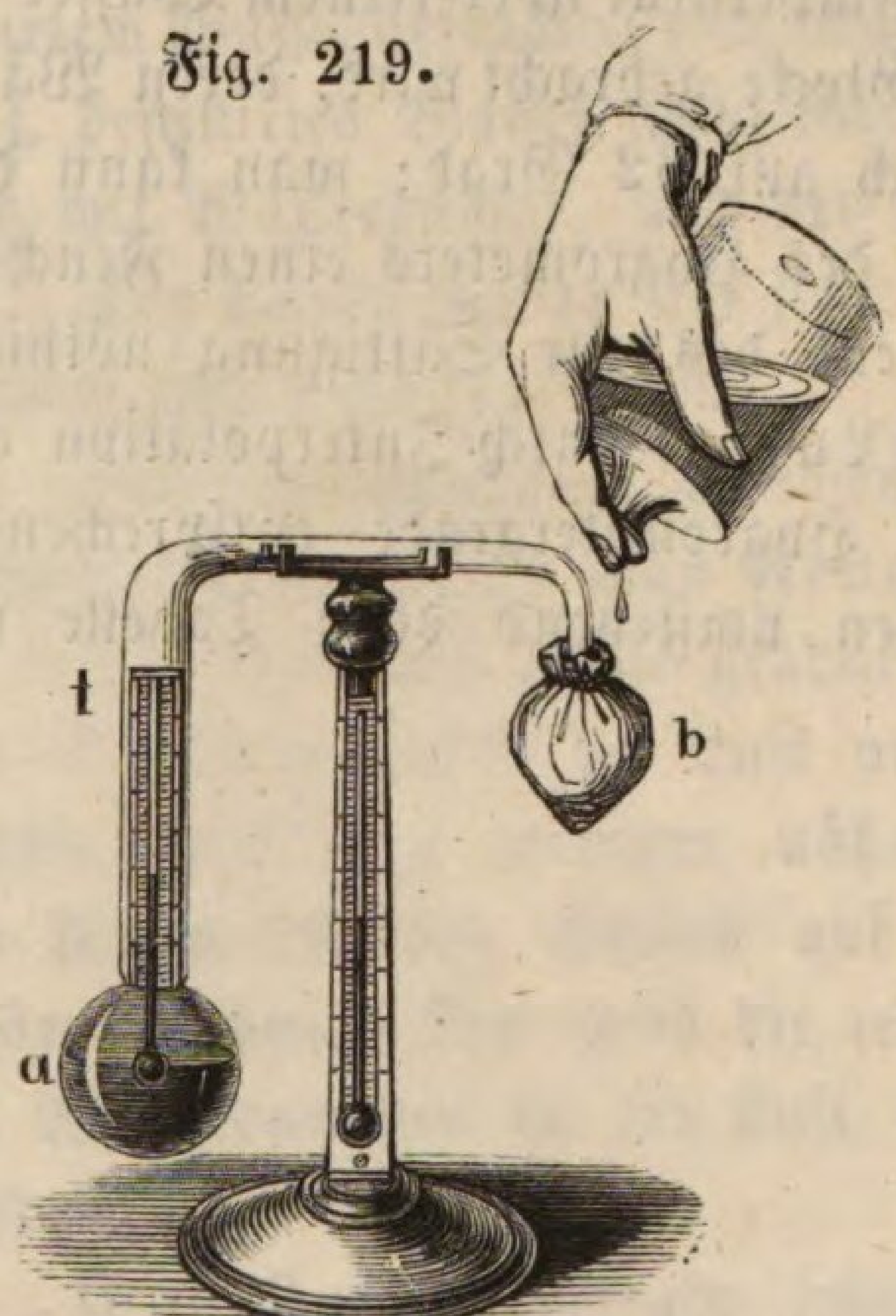
Regnault hat neuerdings auch Untersuchungen über das Haarhygrometer angestellt. Er fand es zweckmäßiger, die Haare mit Aether zu entfetten, statt sie in einer Sodalösung zu kochen, wie es Saussure angegeben hatte.

Er fand, daß Hygrometer, mit einerlei Art von Haaren construirt, welche auf gleiche Weise entfettet wurden, zwar nicht streng übereinstimmend gehen, daß sie aber für die meisten Beobachtungen als vergleichbar betrachtet werden können; daß dagegen Hygrometer mit Haaren von verschiedener Natur und verschiedener Zubereitung sehr große Unterschiede in ihren Angaben zeigen können, selbst wenn sie an den Endpunkten mit einander stimmen.

Daraus geht klar hervor, daß man nicht eine für alle Haarhygrometer gültige Tabelle berechnen könne, sondern daß man eigentlich für jedes Instrument der Art Versuche in obiger Weise anstellen und aus diesen eine Tabelle berechnen müsse.

169 **Daniel's Hygrometer** ist Fig. 219 dargestellt; es besteht aus einer gekrümmten Röhre, welche mit zwei Kugeln endigt; die eine, *a*, ist entweder vergoldet oder mit einer ganz dünnen glänzenden Platinschicht überzogen, die andere ist mit einem Läppchen feiner Leinwand umwickelt. Die Kugel *a* ist zur Hälfte mit Aether gefüllt und enthält ein kleines Thermometer, dessen Theilung in die Röhre *t* hineinragt. Der Apparat ist vollkommen luftleer. Wenn man nun Aether auf die Kuppel *b* tröpfelt, so wird sie durch die Verdampfung desselben erkaltet, in ihrem Inneren werden Aetherdämpfe condensirt und dadurch eine Verdampfung des Aethers in der Kugel *a* bewirkt, indem gewissermaßen der Aether aus der wärmeren Kugel *a* in die kältere *b* über-

Fig. 219.



destillirt. Bei der Dampfbildung in der Kugel *a* wird aber ebenfalls Wärme gebunden und sie beschlägt sich endlich mit einem zarten Thau.

Die Entstehung dieses Thaues läßt sich leicht erklären. Die Physik lehrt, daß im leeren Raume die Spannkraft des Wasserdampfes für eine bestimmte Temperatur eine gewisse Gränze nicht übersteigen kann, daß aber das Maximum der Spannkraft mit der Temperatur steigt. Für eine Temperatur von 20° z. B. ist das Maximum der Spannkraft des Wasserdampfes 17,3 Millimeter (Lehrb. d. Physik II. Bd. S. 490), und die entsprechende Dichtigkeit des Wasserdampfes 0,00001718; in einem luftleeren Raume von 1 Cubikmeter können also bei einer Temperatur von 20° höchstens 17,18 Gramm Wasser in Form von Dampf enthalten sein.

Wir wissen aber ferner, daß in einem lufterfüllten Raume gerade ebensoviel Wasserdampf enthalten sein kann als in einem gleich großen luftleeren Raume, und daß sich in diesem Falle die Spannkraft der Luft und die Spannkraft des in ihr verbreiteten Wasserdampfes summiren. Bei einer Temperatur von 20° können also in einem Cubikmeter Luft ebenfalls 17,18 Gramm Wasser als Dampf enthalten sein.

Man sagt, die Luft sei mit Wasserdampf gesättigt, wenn der in ihr verbreitete Wasserdampf das ihrer Temperatur entsprechende Maximum der Spannkraft und Dichtigkeit erreicht hat.

Bringt man in eine mit Feuchtigkeit gesättigte Luft einen kälteren Körper, so wird dieser die nächsten Luftschichten erkalten, ein Theil des in ihnen enthaltenen Wasserdampfes wird sich verdichten müssen und setzt sich in Form von feinen Tröpfchen an den kalten Körper an. Auf diese Weise bildet sich der Beschlag an den Fensterscheiben in einem bewohnten erwärmten Zimmer, wenn die Temperatur der äußeren Luft niedrig genug ist, um die Fensterscheiben hinlänglich zu erkalten.

Nicht immer ist die Luft mit Feuchtigkeit gesättigt, d. h. es ist nicht immer in derselben gerade soviel Wasserdampf enthalten, als sie bei ihrer Temperatur aufnehmen könnte. Nehmen wir z. B. an, jedes Cubikmeter Luft enthielte bei einer Temperatur von 20° C. nur 13,63 Gramm Wasserdampf, so ist sie nicht gesättigt; denn bei dieser Temperatur könnte ja jedes Cubikmeter Luft 17,18 Gramm Wasserdampf enthalten. Aus der angeführten Tabelle (Lehrb. d. Physik II. Bd. S. 490) ersieht man aber, daß die Dichtigkeit des gesättigten Wasserdampfes bei 16° gleich 0,00001363 ist; für eine Temperatur von 16° wäre also die Luft gesättigt. Man müßte also die Luft bis unter 16° erkalten, wenn eine Verdichtung von Wasserdampf stattfinden sollte.

Die Temperatur, für welche eben die Verdichtung des Wasserdampfes beginnt, die Temperatur also, für welche die Luft gerade mit Wasserdampf gesättigt ist, heißt der Thaupunkt.

Der Thaupunkt ist es nun, welchen man am Daniel'schen Hygrometer beobachtet; sobald nämlich die Kugel *a* bis zur Temperatur des Thaupunktes erkaltet ist, fängt diese Kugel an sich zu beschlagen; die Temperatur des Thaupunktes liest man unmittelbar an dem in die Kugel *a* hineinragenden Thermometer ab.

Die folgende Tabelle giebt den Wassergehalt der mit Dampf gesättigten Luft für den Thaupunkt von — 20⁰ bis + 40⁰ Celsius an.

Temperatur des Thaupunktes.	Entsprechende Spannkraft des Wasserdampfes.	Gewicht des Wasserdampfes in 1 Cubikmeter Luft.	Temperatur des Thaupunktes.	Entsprechende Spannkraft des Wasserdampfes.	Gewicht des Wasserdampfes in 1 Cubikmeter Luft.
	mm	gr		mm	gr
— 20⁰	1,3	1,5	19⁰	16,3	16,2
— 15	1,9	2,1	20	17,3	17,1
— 10	2,6	2,9	21	18,3	18,1
— 5	3,7	4,0	22	19,4	19,1
0	5,0	5,4	23	20,6	20,2
1	5,4	5,7	24	21,8	21,3
2	5,7	6,1	25	23,1	22,5
3	6,1	6,5	26	24,4	23,8
4	6,5	6,9	27	25,9	25,1
5	6,9	7,3	28	27,4	26,4
6	7,4	7,7	29	29,0	27,9
7	7,9	8,2	30	30,6	29,4
8	8,4	8,7	31	32,4	31,0
9	8,9	9,2	32	34,3	32,6
10	9,5	9,7	33	36,2	34,3
11	10,1	10,3	34	38,3	36,2
12	10,7	10,9	35	40,4	38,1
13	11,4	11,6	36	42,7	40,2
14	12,1	12,2	37	45,0	42,2
15	12,8	13,0	38	47,6	44,4
16	13,6	13,7	39	50,1	46,7
17	14,5	14,5	40	53,0	49,2
18	15,4	15,3			

Wenn uns das Hygrometer für den Thaupunkt 12⁰C. angiebt, so ersehen wir aus dieser Tabelle, daß jedes Cubikmeter Luft 10,7 Gramm Wasserdampf enthält; wäre der Thaupunkt 17⁰ C., so enthielte jedes Cubikmeter Luft 14,5 Gramm Wasserdampf u. s. w.

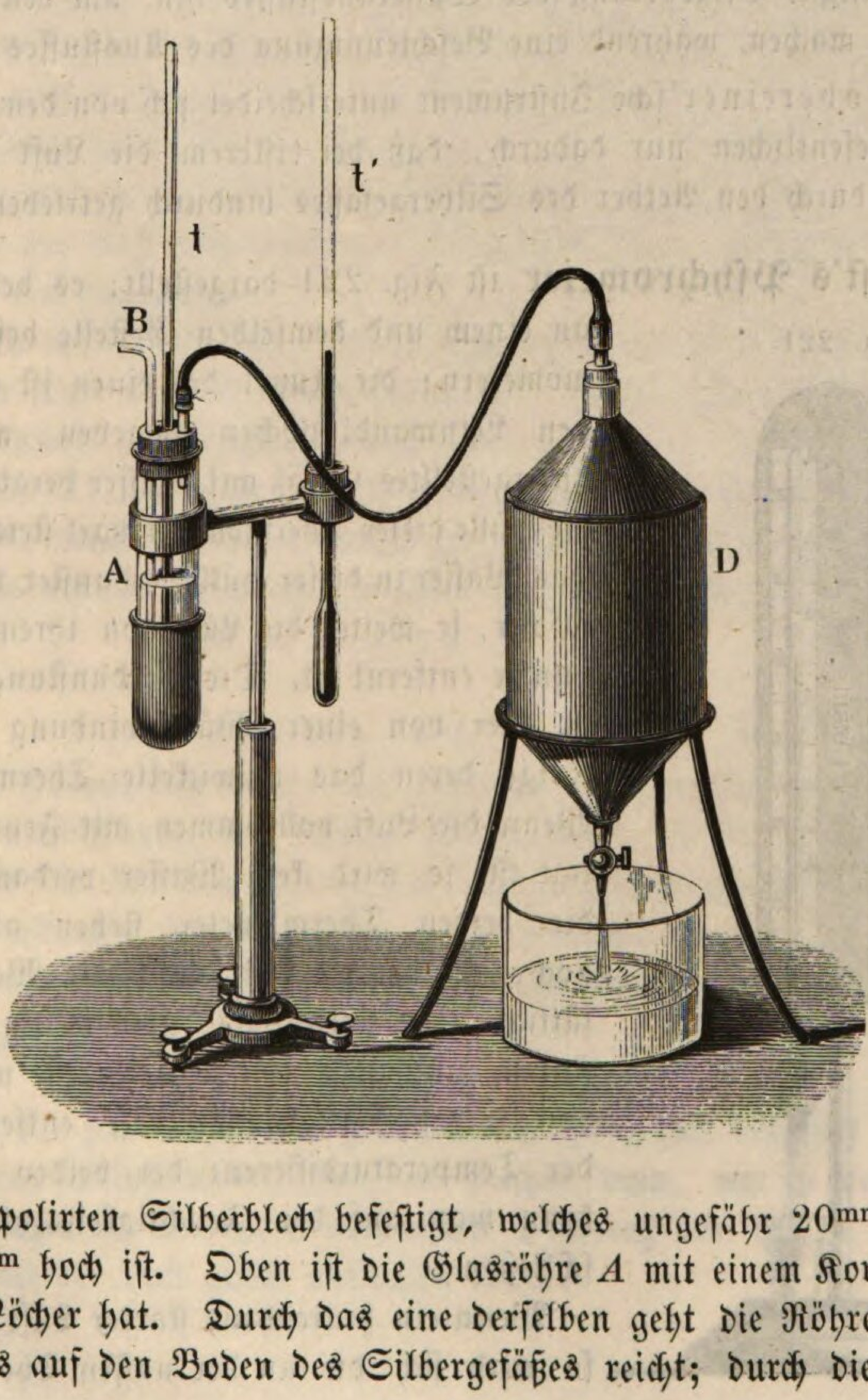
Gegen die Genauigkeit der Angaben des Daniel'schen Hygrometers lassen sich mit Recht folgende Einwendungen machen. Der Aether in der Kugel *a* ist

an der Oberfläche kälter als an den tieferen Stellen; die Handhabung des Apparates erfordert eine längere Anwesenheit des Beobachters in der Nähe desselben, wodurch sowohl die Temperatur als auch der Feuchtigkeitsgehalt der Luft modificirt wird; die Menge des Aethers, welcher auf der Kugel *b* verdampft, äußert ebenfalls einen Einfluß auf den hygrometrischen Zustand der Luft, welcher noch dadurch verschlimmert wird, daß der käufliche Aether nie ganz wasserfrei ist.

Schon lange hat Döbereiner auf die Schwierigkeit aufmerksam gemacht, mit dem Daniel'schen Hygrometer genaue Resultate zu erhalten; er construirte ein anderes, auf demselben Principe beruhendes Instrument, welches jedoch nicht so beachtet worden zu sein scheint, wie es verdient.

Vor Kurzem hat Regnault ein Instrument angegeben, welches als eine Vervollkommuung des oben erwähnten Döbereiner'schen angesehen werden kann. Am unteren Ende der Glasröhre *A*, Fig. 220, ist ein fingerhutartiges Gefäß

Fig. 220.



von dünnem polirten Silberblech befestigt, welches ungefähr 20mm Durchmesser hat und 45mm hoch ist. Oben ist die Glasröhre *A* mit einem Kork verschlossen, welcher drei Löcher hat. Durch das eine derselben geht die Röhre *B* hindurch, welche fast bis auf den Boden des Silbergefäßes reicht; durch die zweite Oeff-

nung geht die Röhre eines Thermometers, dessen Gefäß sich ungefähr in der Mitte des Silbergefäßes befindet. Ein kurzes Glasröhrchen, welches nur eben bis unter den Kork reicht, steckt in der dritten Oeffnung. Von diesem Röhrchen führt ein Gummischlauch zu dem mit Wasser gefüllten Aspirator *D*.

Das silberne Gefäß und die Glasröhre *A* sind ungefähr so weit mit Aether gefüllt, wie die Figur zeigt. Wird nun der Hahn des Aspirators geöffnet, so fließt hier das Wasser aus, in gleichem Maße aber muß Luft durch das Rohr *B* einströmen, welche durch den Aether in *A* in Form von Bläschen aufsteigt, und dadurch eine rasche Verdunstnng desselben bewirkt, in Folge deren das Silbergefäß von außen beschlägt.

Die Temperatur des Thaupunktes wird am Thermometer *t*, die der umgebenden Luft am Thermometer *t'* abgelesen.

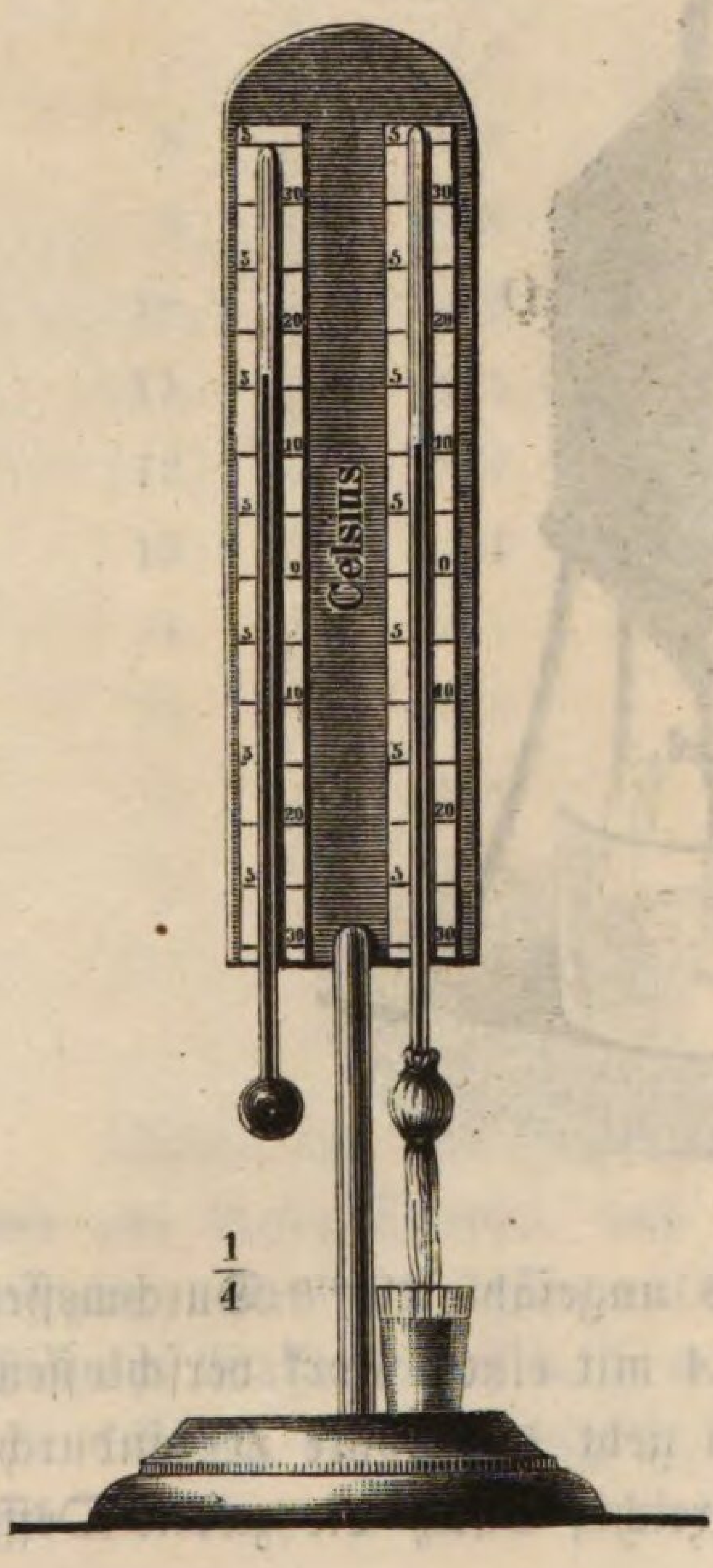
Der Beobachter steht am Aspirator *D* und beobachtet das Silbergefäß und die Thermometer durch ein Fernrohr.

Wenn das Silbergefäß die Temperatur des Thaupunktes erreicht hat, so reicht die geringste Verzögerung des Wasserausflusses hin, um den Beschlag verschwinden zu machen, während eine Beschleunigung des Ausflusses ihn vermehrt.

Das Döbereiner'sche Instrument unterscheidet sich von dem Regnault'schen im Wesentlichen nur dadurch, daß bei ersterem die Luft mittelst einer Druckpumpe durch den Aether des Silbergefäßes hindurch getrieben wird.

170 **August's Psychrometer** ist Fig. 221 dargestellt; es besteht aus zwei an einem und demselben Gestelle befestigten Thermometern; die Kugel des einen ist mit einem feinen Leinwandläppchen umgeben, welches in ein untergestelltes Gefäß mit Wasser herabhängt, so daß die Hülle dieser Thermometerkugel stets befeuchtet ist; das Wasser in dieser Hülle verdunstet, und zwar um so rascher, je weiter die Luft von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist. Die Verdunstung des Wassers ist aber von einer Wärmebindung begleitet, in Folge deren das umwickelte Thermometer sinkt. Wenn die Luft vollkommen mit Feuchtigkeit gesättigt ist, so wird kein Wasser verdampfen können, die beiden Thermometer stehen alsdann gleich hoch; ist aber die Luft nicht mit Wasserdampf gesättigt, so wird das umwickelte Thermometer sinken, und zwar um so tiefer, je weiter die Luft von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist. Aus der Temperaturdifferenz der beiden Thermometer kann man auf den Feuchtigkeitszustand der Luft schließen.

Fig. 221.



$\frac{1}{4}$

Wenn ein hinreichend starker Luftzug stattfindet, so wird sich die an der nassen Thermometerkugel

vorbeistreichende Luft mit Wasserdampf sättigen, sie wird aber einen Theil ihrer Wärme zur Dampfbildung abgeben; das nasse Thermometer zeigt die Temperatur an, bis zu welcher die Luft an dieser Kugel erkaltet und für welche sie sich mit Wasserdampf sättigt. Nehmen wir an, das nasse Thermometer zeige 16 Grad, so sehen wir daraus, daß die Luft, welche an der umwickelten Kugel vorbeistreicht, auf 16° erkaltet wird, und daß sie dieselbe für diese Temperatur gesättigt verläßt. Wäre die ganze Luftmasse für die Temperatur von 16° mit Wasserdampf gesättigt, so würde jedes Cubikmeter Luft 13,7 Gramm Wasserdampf enthalten; so viel Wasserdampf enthält sie aber in der That nicht, denn sie nimmt ja an der nassen Kugel, bis zu 16° erkaltet, noch Wasserdampf auf; der Feuchtigkeitszustand der Atmosphäre ist also von der Art, daß jedes Cubikmeter Luft weniger als 13,7 Gramm Wasserdampf enthält.

Die Menge des Wasserdampfes, welche die Luft aufnimmt, indem sie an der nassen Kugel vorbeistreicht, hängt von der Wärmequantität ab, welche sie zur Dampfbildung abgiebt; diese Wärmequantität ist aber um so bedeutender, je stärker sie erkaltet wird, sie ist der Temperaturdifferenz der beiden Thermometer proportional, und auch die Menge des Wasserdampfes, welchen die Luft aufnimmt, wenn sie am nassen Thermometer vorbeistreicht, können wir ohne merklichen Fehler dieser Temperaturdifferenz proportional setzen. Bezeichnen wir diese Temperaturdifferenz mit d, so können wir die Quantität des Wasserdampfes, welchen ein Cubikmeter der nach und nach an der nassen Kugel vorbeistreichenden Luft aufnimmt, mit $c\,d$ bezeichnen.

Bezeichnen wir ferner mit M das Maximum des Wasserdampfes, welchen ein Cubikmeter Luft bei der Temperatur des nassen Thermometers enthalten kann, die Quantität des Wasserdampfes also, welchen die Luft wirklich enthält, welche am nassen Thermometer vorbeigestrichen ist, so besteht diese Quantität M aus zwei Theilen, der Quantität cd nämlich, welche sie an der Kugel aufgenommen hat, und der Quantität X, welche sie schon enthielt; es ist also:

$$M = X + c\,d$$

oder:

$$X = M - c\,d.$$

In dieser Formel bezeichnet, wie erwähnt, X den Wassergehalt der Luft, d die Temperaturdifferenz der beiden Thermometer, M den Wassergehalt der Luft, wenn sie für die Temperatur des nassen Thermometers gesättigt wäre, und c einen constanten Factor, welcher durch Versuche ermittelt werden muß.

Durch vergleichende Versuche mit dem Psychrometer und dem Daniel'schen Hygrometer ergab sich:

$$c = 0{,}65.$$

Um nicht für jede Beobachtung erst den Wassergehalt der Luft berechnen zu müssen, hat man Tabellen berechnet, in welchen man, wie in der folgenden, für jede Lufttemperatur und jede beobachtete Differenz der beiden Thermometer den Wassergehalt der Luft gleich aufsuchen kann.

Temperatur der Luft in Graden nach Celsius.	Differenz des trockenen und befeuchteten Thermometers.											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
— 20	1,5	0,8	0,1										
— 19	1,6	0,9	0,2										
— 18	1.8	1,0	0,3										
— 17	1,9	1,1	0,4										
— 16	2,0	1,2	0,5										
— 15	2,1	1,4	0,6										
— 14	2,3	1,5	0,8										
— 13	2,4	1,6	0.9	0,1									
— 12	2,6	1,8	1,0	0.3									
— 11	2,7	2,0	1,2	0,4									
— 10	2,9	2,1	1,3	0,6									
— 9	3,1	2,3	1,5	0,7									
— 8	3,3	2,5	1,7	0,9	0,1								
— 7	3,5	2,7	1,9	1,1	0,3								
— 6	3,7	2,9	2,1	1,3	0,5								
— 5	4,0	3,1	2,3	1,5	0,7								
— 4	4,2	3,4	2,5	1,7	0,9	0,1							
— 3	4,5	3,6	2,8	1,9	1,1	0,3							
— 2	4,8	3,9	3,0	2,2	1,4	0,5							
— 1	5,1	4,2	3,3	2,4	1,6	0,8							
0	5,4	4,5	3,6	2,7	1,9	1,0	0,2						
+ 1	5,7	4,7	3,8	2,9	2,1	1,2	0,4						
+ 2	6,1	5,1	4,1	3,2	2,3	1,4	0.5						
+ 3	6.5	5,4	4,4	3,4	2,5	1,6	0,7						
+ 4	6,9	5,8	4,8	3,7	2,7	1,8	1,0						
+ 5	7,3	6,2	5,1	4,1	3,1	2,1	1,2	0,3					
+ 6	7,7	6,6	5,5	4,5	3,4	2,4	1,4	0,5					
+ 7	8,2	7,0	5,9	4,9	3,8	2,8	1,8	0,8					
+ 8	8,7	7,5	6,4	5,3	4,2	3,2	2,1	1,1	0,2				
+ 9	9,2	8,0	6,9	5,7	4,6	3,6	2,5	1,5	0,5				
+ 10	9,7	8,5	7,3	6,2	5,1	4,0	2,9	1,9	0,9				
+ 11	10,3	9,1	7,9	6,7	5,6	4,4	3,3	2,3	1,2	0,2			
+ 12	10,9	9,7	8,4	7,2	6,0	4,9	3,8	2,7	1,7	0,6			
+ 13	11,6	10,3	9,0	7,8	6,6	5,4	4,3	3,1	2,1	1,0			
+ 14	12,2	10,9	9,6	8,3	7,1	5,9	4,8	3,6	2,5	1,4	0,4		
+ 15	13,0	11,6	10,3	9,0	7,7	6,5	5,3	4,1	3,0	1,9	0,8		
+ 16	13,7	12,3	10,9	9,6	8,3	7,0	5,8	4,6	3,5	2,4	1,3	0,2	
+ 17	14,5	13,1	11,6	10,3	9,0	7,7	6,4	5,2	4,0	2,9	1,7	0,7	
+ 18	15,3	13,8	12,4	11,0	9,6	8,3	7,0	5,8	4,6	3,4	2,2	1,1	
+ 19	16,2	14,7	13,2	11,7	10,3	9,0	7,7	6,4	5,1	3,9	2,8	1,6	
+ 20	17,1	15,5	14,0	12,5	11,1	9,7	8,3	7,0	5,8	4,5	3,3	2,2	
+ 21	18,1	16,5	14,9	13,4	11,9	10,5	9,1	7,7	6,4	5,1	3,9	2,7	
+ 22	19,1	17,4	15,8	14,2	12,7	11,2	9,8	8,4	7,1	5,8	4,5	3,3	
+ 23	20,2	18,5	16,8	15,2	13,6	12,1	10,6	9,2	7,8	6,4	5,2	3,9	2,5
+ 24	21,3	19,5	17,8	16,1	14,5	12,9	11,4	10,0	8,5	7,2	5,8	4,5	3,1
+ 25	22,5	20,6	18,9	17,1	15,5	13,8	12,3	10,8	9,3	7,9	6,5	5,2	3,9
+ 26	23,8	21,8	20,0	18,2	16,5	14,8	13.2	11,6	10,1	8,7	7,3	5,9	4,6
+ 27	25,1	23,1	21,2	19,3	17,5	15,8	14,2	12,6	11,0	9,5	8,1	6,7	5,3
+ 28	26,4	24,4	22,4	20,5	18,7	16,9	15,2	13,5	11,9	10,4	8,9	7,5	6,1
+ 29	27,9	25,8	23,7	21,7	19,8	18,0	16,3	14.6	12,9	11,3	9,8	8,3	6,8
+ 30	29,4	27,2	25,1	23,0	21,1	19,2	17,4	15,6	13,9	12,3	10,7	9,1	7,7
+ 31	31,0	28,7	26,5	24,4	22,4	20,4	18,5	16,7	15,0	13,3	11,6	10,1	8,5
+ 32	32,6	30,3	28,0	25,8	23,8	21,7	19,8	17,9	16 1	14,3	12,7	11,0	9,4
+ 33	34,4	31,9	29,6	27,3	25,2	23,1	21,1	19,1	17,3	15,4	13,7	12,0	10,4
+ 34	36,2	33,7	31,2	28,9	26,7	24,5	22,4	20,4	18,5	16,6	14,8	13,1	11,4
+ 35	38,1	35,5	33,0	30,6	28,2	26,0	23,8	21,8	19,8	17,8	16,0	14,2	12,5

Man findet in dieser Tabelle den Wassergehalt eines Cubikmeters Luft, in Grammen ausgedrückt, für die jedesmalige Lufttemperatur und die gleichzeitig beobachtete Differenz der beiden Thermometer, wenn man in der Horizontalreihe, deren äußerste Ziffer links die Lufttemperatur angiebt, bis zu der Verticalreihe herübergeht, welche mit der beobachteten Differenz der beiden Thermometer überschrieben ist. So findet man z. B. für eine Lufttemperatur von 20°, wenn das nasse Thermometer auf 16° steht, wenn also die Temperaturdifferenz der beiden Thermometer 4° ist, den Wassergehalt der Luft gleich 11,1, d. h. in diesem Falle enthält jedes Cubikmeter Luft 11,1 Gramm Wasserdampf.

Regnault hat durch zahlreiche Versuche nachgewiesen, daß die Temperaturdifferenz der beiden Thermometer wesentlich von der Stärke des Luftzuges abhängt, daß das feuchte Thermometer in einem geschlossenen Raume nicht so tief sinkt, als wenn es dem Luftzuge ausgesetzt ist. Ebenso fand er, daß bei niedriger Temperatur und sehr feuchter Luft die aus den Angaben des Psychrometers berechneten Werthe des Wassergehaltes bedeutend von den mittelst des Aspirators gefundenen abweichen; die in der vorstehenden Tabelle angegebenen Werthe des Wassergehaltes der Luft sind also wohl nur bei mittleren und höheren Temperaturen und nicht gar zu feuchter Luft als ziemlich genau zu nehmen.

Tägliche Variationen im Wassergehalte der Luft. Da bei hoher Temperatur mehr Wasserdampf in der Luft verbreitet sein kann, da mit steigender Wärme das Wasser an der Oberfläche der Gewässer und vom feuchten Boden mehr und mehr verdunstet, so läßt sich wohl erwarten, daß der Wassergehalt der Luft im Laufe eines Tages ab- und zunehmen wird. Die Gesetze der täglichen Variationen des Wassergehaltes der Atmosphäre sind besonders durch lange Versuchsreihen von Neuber in Apenrade, von Kupffer in Petersburg und von Kämtz in Halle und auf den Alpen ermittelt worden. 171

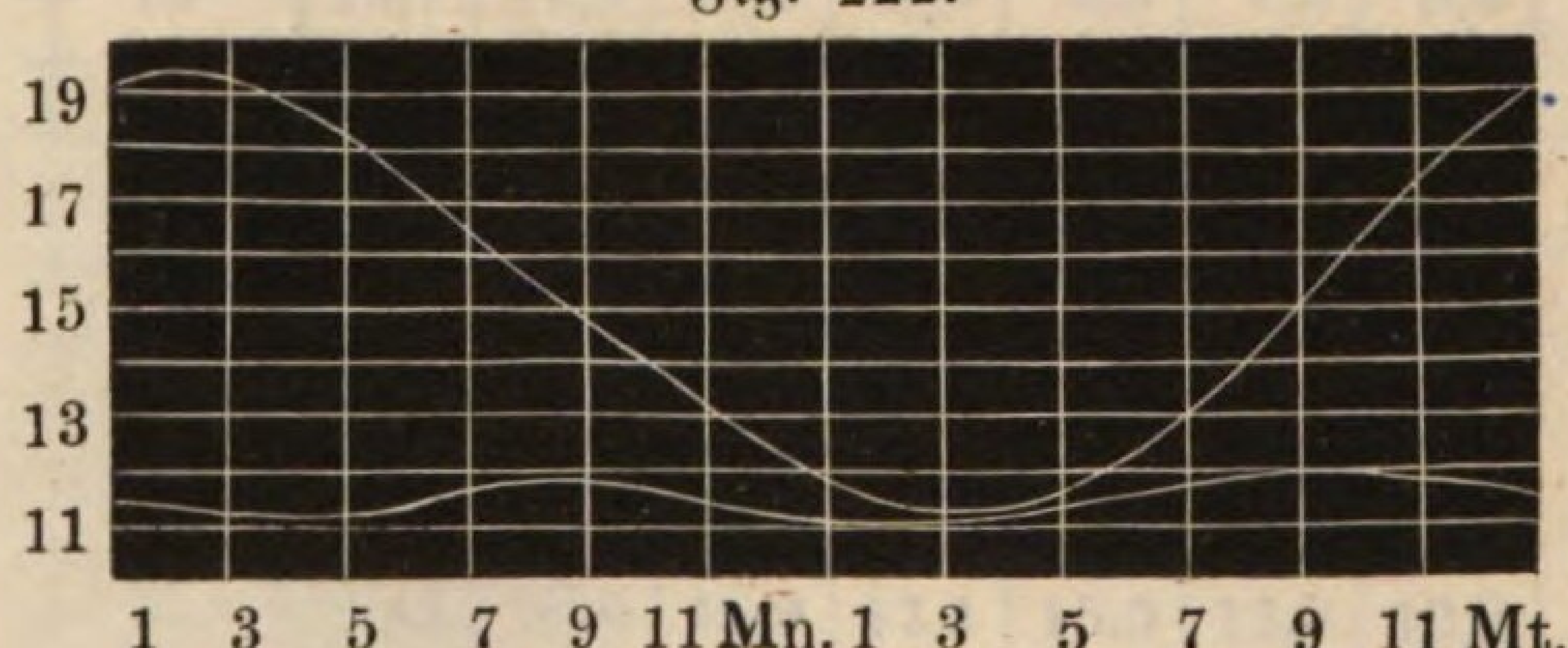
Die folgende Tabelle giebt die mittlere Spannkraft für die einzelnen Tagesstunden in den Monaten Januar, April, Juli und October an.



Stunden.	Januar.	April.	Juli.	October.
Mittag	4,29	6,15	11,62	8,27
1	4,32	6,05	11,42	8,29
2	4,34	6,08	11,32	8,23
3	4,33	6,09	11,22	8,15
4	4,28	6,09	11,18	8,10
5	4,25	6,09	11,25	8,06
6	4,24	6,12	11,36	8,10
7	4,22	6,15	11,68	8,07
8	4,20	6,13	11,76	7,96
9	4,18	6,10	11,75	7,88
10	4,15	6,05	11,67	7,80
11	4,14	6,03	11,52	7,72
Mitternacht	4,11	6,02	11,33	7,66
1	4,09	5,99	11,15	7,59
2	4,09	5,93	11,05	7,52
3	4,08	5,88	11,07	7,43
4	4,08	5,84	11,21	7,36
5	4,07	5,87	11,44	7,34
6	4,06	5,96	11,68	7,44
7	4,06	6,08	11,96	7,49
8	4,05	6,25	12,11	7,75
9	4,07	6,34	12,05	8,06
10	4,12	6,35	11,89	8,23
11	4,21	6,28	11,72	8,28
Mittel	4,17	6,08	11,52	7,87

Nach dieser Tabelle sind die Variationen des Wassergehaltes der Luft während eines Tages für den Monat Juli in Fig. 222 graphisch, und zwar in der unteren Curve, dargestellt. Die Abscissen sind der Zeit, die Ordinaten der Spannkraft des Wasserdampfes proportional aufgetragen. Man sieht, daß der Wassergehalt der Luft zwei Maxima, gegen 9 Uhr Abends und gegen 9 Uhr Morgens, und zwei Minima, um 4 Uhr Nachmittags und kurz vor Sonnenaufgang, hat.

Fig. 222.



Wenn mit Sonnenaufgang die Temperatur steigt, vermehrt sich auch die Menge des Wasserdampfes in der Luft, jedoch dauert dies nur bis 9 Uhr, wo ein durch die starke Erwärmung des Bodens veranlaßter aufwärtssteigender

Luftstrom die Dämpfe mit in die Höhe nimmt, so daß der Wassergehalt der unteren Luftschichten geringer wird, obgleich bei immer zunehmender Wärme die Bildung der Dämpfe fortdauert; diese Abnahme dauert bis gegen 4 Uhr; von hier an nimmt der Wassergehalt der unteren Luftschichten wieder zu, weil jetzt die nach oben gerichtete Luftströmung aufhört, den sich bildenden Wasserdampf wegzuführen; jedoch dauert diese Zunahme nur bis gegen 9 Uhr Abends, weil nun die immer mehr sinkende Temperatur der Luft der ferneren Dampfbildung eine Gränze setzt.

Im Winter, wo die Wirkung der Sonne weniger intensiv ist, verhält sich die Sache anders; im Januar beobachtet man nur ein Maximum des Wassergehaltes der Luft um 2 Uhr Nachmittags und ein Minimum zur Zeit des Sonnenaufganges.

Die obere Curve der vorigen Figur zeigt uns das Maximum der Spannkraft, welches der Wasserdampf bei der, jeder Tagesstunde des Monats Juli entsprechenden mittleren Temperatur erreichen könnte. Da die beiden Curven für die Zeit des Sonnenaufganges sich einander sehr nähern, so ist also um diese Zeit die Luft sehr nahe mit Feuchtigkeit gesättigt. Mit steigender Temperatur nimmt nun zwar anfangs die absolute Menge des Wasserdampfes in der Luft zu, doch nicht im Verhältniß der Temperaturzunahme, der Wassergehalt der Luft entfernt sich also immer mehr von dem ihrer Temperatur entsprechenden Sättigungspunkte oder auch, mit anderen Worten, die Differenz zwischen der Temperatur der Luft und dem Thaupunkte wird immer größer.

Wir sagen »die Luft ist trocken«, wenn das Wasser rasch verdunstet und wenn befeuchtete Gegenstände durch dieses rasche Verdunsten schnell trocken werden; dagegen sagen wir »die Luft ist feucht«, wenn befeuchtete Gegenstände an der Luft nur langsam oder gar nicht trocknen, wenn die geringste Temperaturerniedrigung feuchte Niederschläge bewirkt, und wenn etwas kältere Gegenstände sich mit Feuchtigkeit überziehen. Wir nennen also die Luft trocken, wenn sie weit von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist, feucht dagegen, wenn der Thaupunkt der Temperatur der Luft sehr nahe liegt; mit diesem Urtheile über die Trockenheit oder Feuchtigkeit der Luft verbinden wir also durchaus kein Urtheil über den absoluten Wassergehalt der Luft. Wenn an einem heißen Sommertage bei einer Temperatur von 25° C. jedes Cubikmeter Luft 13 Gramm Wasserdampf enthält, so sagen wir, die Luft sei sehr trocken; denn bei dieser Temperatur könnte jedes Cubikmeter Luft 22,5 Gramm Wasserdampf enthalten (siehe die Tabelle Seite 3?8), oder die Luft müßte bis auf 15° C. erkaltet werden, um bei unverändertem Wassergehalte gesättigt zu sein. Wenn sie dagegen im Winter bei einer Temperatur von + 2° C. nur 6 Gramm Wasserdampf enthält, so ist die Luft sehr feucht, weil die Luft für die herrschende Temperatur beinahe vollständig mit Wasserdampf gesättigt ist und die geringste Temperaturerniedrigung schon einen Niederschlag zur Folge hat.

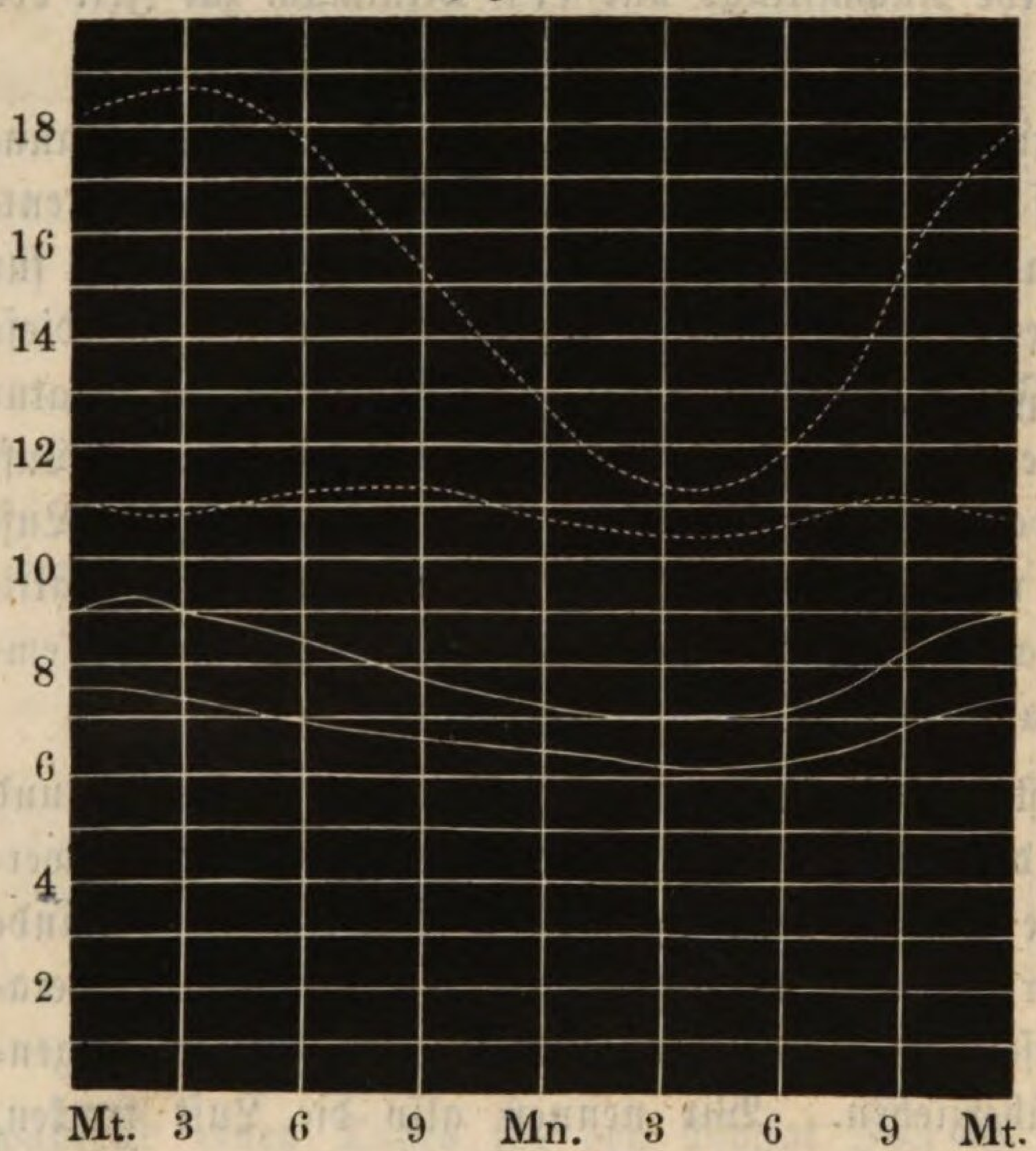
In diesem Sinne können wir also sagen, daß zur Zeit des Sonnenaufganges die Luft am feuchtesten ist, obgleich der absolute Wassergehalt geringer

ist als zu jeder anderen Tageszeit. Gegen 3 Uhr Nachmittags ist im Sommer die Luft am trockensten.

Die Zeit der beiden Maxima und der beiden Minima des Wassergehaltes der Luft fällt nahe mit den Wendestunden der täglichen Periode des Barometers zusammen, so daß man offenbar sieht, wie diese Perioden durch die Variationen des Wassergehaltes der Luft bedingt sind.

Auf hohen Bergen befolgen die Veränderungen im Dampfgehalte der Luft ein anderes Gesetz, weil der aufsteigende Luftstrom die Wasserdämpfe aus der Tiefe in die Höhe führt. Die unterste der beiden ausgezogenen Curven Fig. 223 stellt nach den Beobachtungen von Kämtz die Veränderungen dar, welche die Spannkraft des atmosphärischen Wasserdampfes im Laufe eines Tages auf dem Rigi erleidet, während die untere der beiden punktirten Curven die entsprechenden gleichzeitigen Veränderungen für Zürich darstellt. Zuerst sieht man bei der Betrachtung dieser Curven, daß in Zürich der Wassergehalt der Luft während 24 Stunden 2 Maxima und 2 Minima hat, während in der Höhe, wie bei den täglichen Variationen des Barometerstandes, nur 1 Maximum und nur 1 Minimum stattfindet; auch in der Höhe nimmt der Wassergehalt der Luft von Sonnenaufgang an zu, diese Zunahme dauert aber bis Mittag, während in der Tiefe der Wassergehalt von 9 Uhr an schon wieder abnimmt, weil der aufsteigende Luftstrom, welcher die Abnahme des Wassergehaltes in der Tiefe veranlaßt, die dort weggeführten Dämpfe in die Höhe bringt. Von 3 Uhr Nachmittags an, wenn die Stärke des aufsteigenden Luftstromes nachläßt, nimmt der Wassergehalt in der Tiefe wieder zu, in der Höhe nimmt er aber fortwährend ab, weil bei stets abnehmender Temperatur kein Wasserdampf mehr in die Höhe gebracht wird, sondern umgekehrt die Wasserdämpfe sich in die Tiefe senken. Die obere der beiden punktirten und die obere der beiden ausgezogenen Curven geben an, wie groß zu jeder Stunde die Spannkraft des atmosphärischen Wasserdampfes in Millimetern ausgedrückt sein würde, wenn die Luft stets vollkommen gesättigt wäre. In der Höhe ist dieser Beobachtungsreihe zufolge die Luft viel feuchter, d. h. sie ist ihrem Sättigungs-

Fig. 223.



punkte viel näher als in der Tiefe; denn die beiden Curven sind für den Rigi fast parallel und nicht weit von einander entfernt, während die beiden auf Zürich sich beziehenden Curven einen sehr ungleichen Lauf haben und für die Stunden vor und nach Mittag sehr weit von einander abstehen.

Man kann deshalb aber nicht allgemein den Satz aufstellen, daß die Luft in der Höhe feuchter sei, denn andere Beobachtungen ergeben das Gegentheil; so fanden z. B. Saussure auf den Alpen und Humboldt auf den südamerikanischen Gebirgen die Luft trockener als in der Tiefe. Bei heiterem Wetter scheint die Luft in der Höhe trockener zu sein, bei trübem aber feuchter als unten, denn man sieht oft den Gipfel der Berge in Wolken gehüllt, während die unteren Luftschichten nicht mit Wasserdampf gesättigt sind.

Jährliche Variationen des Wassergehaltes der Luft. Die folgende Tabelle giebt den mittleren Wassergehalt der Luft für die einzelnen Monate des Jahres zu Halle. 172

Monate.	Spannkraft des Wasserdampfes.	Relative Feuchtigkeit
Januar	4,509mm	85,0
Februar . . .	4,749	79,9
März	5,107	76,4
April	6,247	71,4
Mai	7,836	69,1
Juni	10,843	69,7
Juli	11,626	66,5
August	10,701	61,0
September . .	9,560	72,8
October . . .	7,868	78,9
November . .	5,644	85,3
December . .	5,599	86,2

Der absolute Wassergehalt der Luft ist wie die mittlere Lufttemperatur im Januar ein Minimum; er nimmt bis zum Juli zu, wo er sein Maximum erreicht, dann aber nimmt er wieder ab bis zu Ende des Jahres.

Die letzte Columne dieser Tabelle unter der Ueberschrift »Relative Feuchtigkeit« giebt an, wieviel Procente des bei der mittleren Temperatur des Monats möglichen Maximums des Wassergehaltes im Durchschnitt in der Luft enthalten sind. Im December ist also im Durchschnitt die Luft am feuchtesten, d. h. sie ist ihrem Sättigungspunkte am nächsten; im August aber ist die Luft am trockensten, obgleich ihr absoluter Wassergehalt in diesem Monate sehr groß ist, weil sie sehr weit von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist. Im August ist

der Wassergehalt der Luft im Durchschnitt nur 61 Procent von der Quantität Wasserdampf, welche in der Luft enthalten sein müßte, wenn sie bei der mittleren Temperatur dieses Monats gesättigt sein sollte. In diesem Sinne sind also November, December, Januar und Februar die feuchtesten, Mai, Juni, Juli und August die trockensten Monate des Jahres.

173 **Feuchtigkeit der Luft in verschiedenen Gegenden.** Die Bildung des Wasserdampfes ist vorzugsweise von zwei Bedingungen abhängig, nämlich von der Temperatur und von der Gegenwart von Wasser. Bei einem unbegränzten Wasservorrathe werden sich um so mehr Wasserdämpfe bilden, je höher die Temperatur ist; bei gleicher Temperatur aber werden sich in wasserreichen Gegenden mehr Dämpfe bilden können als in wasserarmen. Daraus folgt nun, daß der absolute Wassergehalt der Luft unter sonst gleichen Umständen von dem Aequator nach den Polen hin abnehmen muß und daß sie im Inneren der großen Continente trockener, d. h. weiter von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist, als auf dem Meere und an den Meeresküsten. Wie sehr die Trockenheit der Luft mit der Entfernung vom Meere zunimmt, beweist schon die Heiterkeit des Himmels der Binnenländer. Die Hygrometerbeobachtungen, welche Humboldt und G. Rose in verschiedenen Gegenden von Sibirien gemacht haben, beweisen ebenfalls die außerordentliche Trockenheit der Atmosphäre in diesen Gegenden. In der Steppe von Platowskaya fanden sie, daß bei einer Temperatur von 23,7° C. die Differenz der beiden Thermometer des Psychrometers 11,7° betrug, während sie bei dem gewöhnlichen Zustande der Atmosphäre nur 5 bis 6° beträgt. Nehmen wir an, die Differenz der Thermometer hätte bei einer Temperatur von 24° C. nur 11° betragen, so würde nach der Tabelle auf Seite 398 jedes Cubikmeter Luft 4,5 Gramm Wasserdampf enthalten haben, eine Quantität, mit welcher die Luft erst bei — 3° C. gesättigt ist; da aber die Temperaturdifferenz noch bedeutend größer war, als wir eben näherungsweise angenommen hatten, so war der Wassergehalt der Luft noch geringer, der Thaupunkt also noch unter — 3° C., die Luft hätte also um mehr als 27° erkaltet werden können, ohne daß ein Niederschlag von Feuchtigkeit erfolgt wäre.

Ein anderes Beispiel außerordentlicher Trockenheit beobachtete Abbadie in Abyssinien. Zu Abbay am blauen Nil zeigte das trockene Thermometer des Psychrometers 37,1° C., das feuchte 19,9° C.; die Differenz der beiden Thermometer, 17,2°, geht also über die Gränzen der Tabelle auf Seite 398 hinaus. Mit Hülfe der Formel auf Seite 397 ergiebt sich aber, daß das Cubikmeter Luft nur 6 Gramm Wasserdampf enthält, während es bei 37,1° C. 42,5 Gramm Wasserdampf enthalten könnte. Der Thaupunkt lag bei + 2° C.

Während eines Samums fand derselbe Beobachter am Ufer des rothen Meeres die Temperatur der Luft im Schatten 42,7° C., während das feuchte Thermometer 20,6° C. zeigte. Ein Cubikmeter Luft enthielt demnach nur noch 3,8 Gramm Wasserdampfes, also nur $^{1}/_{15}$ des bei 42,7° C. möglichen Wassergehaltes. (Poggend. Annal. Bd. LXVIII.)

Auf der schweizerischen Naturforscherversammlung, welche im Jahre 1853

zu Pruntrut gehalten wurde, hielt Desor einen Vortrag über das Klima der Vereinigten Staaten von Nordamerika und seinen Einfluß auf die Sitten und Gebräuche ihrer Bewohner, aus welchem sich die hohe Bedeutung ergiebt, welche der Wassergehalt der Atmosphäre auf die klimatischen Verhältnisse eines Landes ausübt.

Bei gleicher mittlerer Jahreswärme und nahezu gleichem jährlichen Gange der Temperatur zeigt doch das Klima eines Ortes in Nordamerika noch große Verschiedenheiten von der Westküste von Europa, welche den deutschen Auswanderern sehr auffallend sind und sie zu manchen Aenderungen ihrer Gewohnheiten nöthigen. — Die Wäsche trocknet rascher; die Brotvorräthe, welche man in Europa mehrere Wochen lang aufbewahren kann, werden dort in wenigen Tagen ungenießbar, weil das Brot zu rasch austrocknet. — Die Ernten sind in Nordamerika weniger unsicher als in Europa. — In Nordamerika kann man ohne Nachtheil für die Gesundheit in ein eben erst vollendetes Haus einziehen, man hat nicht nöthig, erst auf das Austrocknen der Wände zu warten; dagegen haben die Schreiner mit großen Schwierigkeiten zu kämpfen, indem Holz, welches man in Europa für hinlänglich ausgetrocknet halten würde, um es für Möbeln zu verwenden, zu Boston und New-York in kurzer Zeit reißt; auch müssen die Schreiner in Amerika viel stärkeren Leim anwenden als in Europa.

Alle diese Erscheinungen deuten darauf hin, daß die Luft an den Ostküsten von Nordamerika im Durchschnitt weit trockener ist als an den Westküsten von Europa.

Da nun aber weder die Regenmenge noch die Anzahl der Regentage in Nordamerika geringer ist als in Europa, so kann der erwähnte Unterschied nur dadurch bedingt sein, daß dort bei schönem Wetter die Atmosphäre weniger mit Feuchtigkeit beladen ist als bei uns. Die Luft bleibt nicht, wie in England und Westeuropa, immer ihrem Sättigungspunkte nahe. Sobald es aufgehört hat zu regnen und ein Wechsel des Windes schönes Wetter bringt, geht das Hygrometer augenblicklich herunter und der Thaupunkt sinkt bedeutend unter die Temperatur der Luft.

Die Ursache dieser größeren Trockenheit ist leicht zu erklären. In Amerika ist Südwest der herrschende Wind, wie in Europa; an den Westküsten von Europa kommt aber dieser Wind mit Feuchtigkeit beladen an, weil er bei seiner Berührung mit dem atlantischen Ocean viel Wasserdampf aufnehmen konnte, der Südwest ist bei uns also Regenwind. Anders an den Ostküsten von Nordamerika; dort kommen die Südwestwinde erst an, nachdem sie einen weiten Weg über Land und über ziemlich hohe Gebirge zurückgelegt haben, wo sie sich ihrer Feuchtigkeit entledigen, weshalb sie nur selten Regen bringen.

Der Einfluß dieser klimatischen Verhältnisse auf die Bewohner von Nordamerika ist auffallend. Selten findet man dort, was man wohlgenährt nennt. Die Nordamerikaner sind meistens mager und zeichnen sich namentlich durch einen langen Hals aus. Europäer, welche nach Amerika kommen, werden bald magerer, während umgekehrt die Nordamerikaner in Europa bald dicker werden.

Dem Europäer, welcher in New-York, Boston oder Baltimore landet,

fällt die fieberhafte Regsamkeit auf, welche überall herrscht. Jedermann ist in Eile; die Leute auf der Straße laufen mehr als sie gehen. Allerdings bemerkt man in den großen Städten Englands etwas Aehnliches, aber die Thätigkeit des Engländers scheint mehr überlegt (raisonnée), sagt Desor, die des Yankee mehr instinctmäßig, mehr das Resultat einer natürlichen Ungeduld als der Nothwendigkeit. Der Amerikaner gönnt sich kaum die Zeit zum Speisen, selbst wenn er nichts zu thun hat. Trotz ihrer anscheinenden Kälte sind die Amerikaner weit reizbarer als die Europäer und ihre Empfindlichkeit ist sprichwörtlich. —

Gewiß sind diese Eigenthümlichkeiten des Yankeecharakters vorzugsweise durch die Trockenheit der Luft bedingt, und man würde bei aufmerksamer Beobachtung ähnliche Resultate auch in anderen Ländern finden, die durch große Trockenheit der Luft ausgezeichnet sind.

174 **Der Thau.** Es ist oben auf Seite 393 erklärt worden, wie der feine Thau auf der glänzenden Kugel des Daniel'schen Hygrometers entsteht, wenn diese Kugel erkaltet wird. Ebenso erklärt sich die Thaubildung im Großen.

Wenn im Sommer nach Sonnenuntergang der Himmel heiter und die Luft ruhig bleibt, so werden die verschiedenen Gegenstände auf der Erdoberfläche durch die nächtliche Strahlung gegen den Himmelsraum mehr und mehr erkalten, ihre Temperatur sinkt um 2 bis 3, ja manchmal um 7 bis 8° C unter die Temperatur der Luft herab, die kalten Körper erniedrigen auch die Temperatur der sie zunächst umgebenden Luftschichten; und wenn diese bis zum Thaupunkte erkaltet sind, so wird sich ein Theil des in ihnen enthaltenen Wasserdampfes in Form von feinen Tröpfchen an die kalten Körper ansetzen.

Da nicht alle Körper gleiches Wärmestrahlungsvermögen haben, so erkalten auch einige stärker als andere, und so kommt es, daß manche Körper stark mit Thau überzogen sind, während andere fast ganz trocken bleiben. Gras und Blätter erkalten besonders stark durch die nächtliche Strahlung, theils weil sie ein sehr starkes Strahlungsvermögen besitzen, theils aber auch, weil sie frei in die Luft hineinragen, so daß vom Boden aus nur wenig Wärme zugeleitet werden kann; man findet sie deshalb stärker bethaut als die Steine und den nackten Boden.

Eine Wolkendecke, welche den Himmel überzieht, hindert die Thaubildung, weil sie die nächtliche Strahlung hindert. Auch wenn ein nur etwas lebhafter Wind weht, thaut es nicht, weil er beständig von Neuem warme Luft mit den festen Körpern in Berührung bringt, wodurch diesen fortwährend Wärme zugeführt wird und die Luft an ihnen vorbeistreicht, ehe sie bis zum Thaupunkte erkaltet werden kann.

Der Reif ist nichts Anderes als ein gefrorner Thau. Wenn der Körper, an welchem sich der condensirte Wasserdampf absetzt, unter 0° erkaltet ist, so kann er sich nicht mehr in flüssiger Gestalt, sondern in Form von Eisnadeln absetzen.

175 **Nebel und Wolken.** Wenn die Wasserdämpfe, aus einem Topf mit kochendem Wasser aufsteigend, sich in der kälteren Luft verbreiten, so werden sie

alsbald verdichtet, es entsteht der Schwaden, welcher aus einer Menge kleiner hohler Wasserbläschen besteht, die in der Luft schweben. Man nennt diese Schwaden auch öfters Dampf, doch ist es kein eigentlicher Dampf mehr, wenigstens kein Dampf in physikalischem Sinne des Wortes; denn es ist ja ein verdichteter Dampf.

Wenn die Verdichtung der Wasserdämpfe nicht durch Berührung mit kalten festen Körpern, sondern durch die ganze Masse der Luft hindurch vor sich geht, so entstehen Nebel, welche im Großen dasselbe sind wie der Schwaden, den wir über kochendem Wasser sehen.

Die Nebel entstehen häufig, wenn das Wasser der Seen und Flüsse oder der feuchte Boden wärmer sind als die schon mit Feuchtigkeit gesättigte Luft. Die Dämpfe, welche in Folge der höheren Temperatur des Wassers oder des feuchten Bodens gebildet werden, verdichten sich alsbald wieder, wenn sie sich in der kälteren, schon mit Wasserdämpfen gesättigten Luft verbreiten. Bei gleicher Temperaturdifferenz des Wassers und der Luft bilden sich keine Nebel, wenn die Luft trocken ist, so daß sich alle die Wasserdämpfe, welche vom Boden aufsteigen, in ihr verbreiten können, ohne sie zu sättigen.

Nach dem, was soeben über die Bildung des Nebels gesagt wurde, erklärt sich leicht, daß sich die Nebel vorzugsweise im Herbste über Flüssen und Seen und über feuchten Wiesen bilden. In England sind die Nebel besonders häufig, weil es von einem warmen Meere umspült ist; ebenso sind die warmen Gewässer des Golfstromes, welcher bis nach Neufoundland hinaufströmt, die Ursache der dort so häufigen dichten Nebel.

Manchmal beobachtet man Nebel unter scheinbar ganz verschiedenen Umständen; so sieht man dichte Nebel über den Flüssen, während die Luft wärmer ist als das Wasser oder das Eis. In diesem Falle ist die warme Luft mit Feuchtigkeit gesättigt, und wenn sie sich mit den Luftschichten mischt, welche durch die Berührung mit dem kalten Wasser oder dem Eise schon eine niedrigere Temperatur erlangt haben, so muß nothwendig eine Condensation des Wasserdampfes erfolgen.

Auf dieselbe Weise entstehen auch im Sommer nach Gewitterregen die Nebel über Flüssen und Seen. Die Luft ist wärmer als die Oberfläche des Wassers, aber sie ist mit Feuchtigkeit gesättigt, und sobald sie sich an Orte verbreitet, an welchen die Frische des Wassers fühlbar ist, wird durch die Erkaltung der Wasserdampf verdichtet.

Der Nebel bildet sich jedoch nicht allein über Flüssen und Seen, sondern auch mitten im Lande, sobald durch Luftströmungen wärmere feuchte Luftmassen mit kälteren gemischt und ihre Temperatur unter den Thaupunkt erniedrigt wird.

Die Wolken sind nichts Anderes als Nebel, welche in den höheren Luftregionen schweben, sowie denn Nebel nichts sind als Wolken, welche auf dem Boden aufliegen. Oft sieht man die Gipfel der Berge in Wolken eingehüllt, während die Wanderer auf diesen Bergspitzen sich mitten im Nebel befinden.

Auf den ersten Anblick scheint es unbegreiflich, wie die Wolken in der Luft

schweben können, da sie doch aus Bläschen bestehen, welche offenbar schwerer sind als die umgebende Luft. Da das Gewicht dieser kleinen Wasserbläschen im Vergleich zu ihrer Oberfläche sehr gering ist, so muß die Luft ihrem Falle einen bedeutenden Widerstand entgegensetzen, sie können sich also nur sehr langsam herabsenken, wie ja auch eine Seifenblase, welche überhaupt mit unseren Dunstbläschen eine große Aehnlichkeit hat, in ruhiger Luft nur langsam fällt. Demnach müssen aber doch die Dunstbläschen, wenn auch noch so langsam, sinken, und man sollte demnach meinen, daß bei ruhigem Wetter die Wolken doch endlich bis auf den Boden herabkommen müßten.

Die bei ruhigem Wetter allerdings herabsinkenden Dunstbläschen können aber den Boden nicht erreichen, weil sie bald in wärmere, nicht mit Dämpfen gesättigte Luftschichten gelangen, in welchen sie sich wieder in Dampf auflösen und dem Blicke verschwinden; während sich aber unten die Dunstbläschen auflösen, werden an der oberen Gränze neue gebildet, und so scheint die Wolke unbeweglich in der Luft zu schweben.

Wir haben eben die Dunstbläschen in ganz ruhiger Luft betrachtet; in bewegter Luft werden sie der Richtung der Luftströmung folgen müssen. Ein Wind, welcher sich in horizontaler Richtung fortbewegt, wird die Wolken auch in horizontaler Richtung fortführen, und ein aufsteigender Luftstrom wird sie mit in die Höhe nehmen, sobald seine Geschwindigkeit größer ist als die Geschwindigkeit, mit welcher die Dampfbläschen in ruhiger Luft herabfallen würden. Sehen wir ja doch auch, wie die Seifenblasen durch den Wind fortgeführt und über Häuser hinweggetragen werden. So erklärt sich denn auch durch die aufsteigenden Luftströme das Steigen des Nebels.

Das Ansehen der Wolken ist, je nachdem sie höher oder tiefer schweben, je nachdem sie mehr oder weniger dicht, auf diese oder jene Weise beleuchtet sind u. s. w., gar mannigfaltig. Howard hat unter den verschiedenen Wolken folgende Hauptarten unterschieden:

1) Die Federwolke, cirrus, besteht aus sehr zarten, bald mehr streifigen, bald mehr locken- oder federartigen Fasern, welche nach schönem Wetter zuerst am Himmel erscheinen. In unserer Fig. 224 sieht man sie in dem Eck oben rechts bis herunter, wo die zwei Vögel schweben. Bei trockenem Wetter sind die Federwolken mehr streifig, bei feuchtem mehr verwaschen.

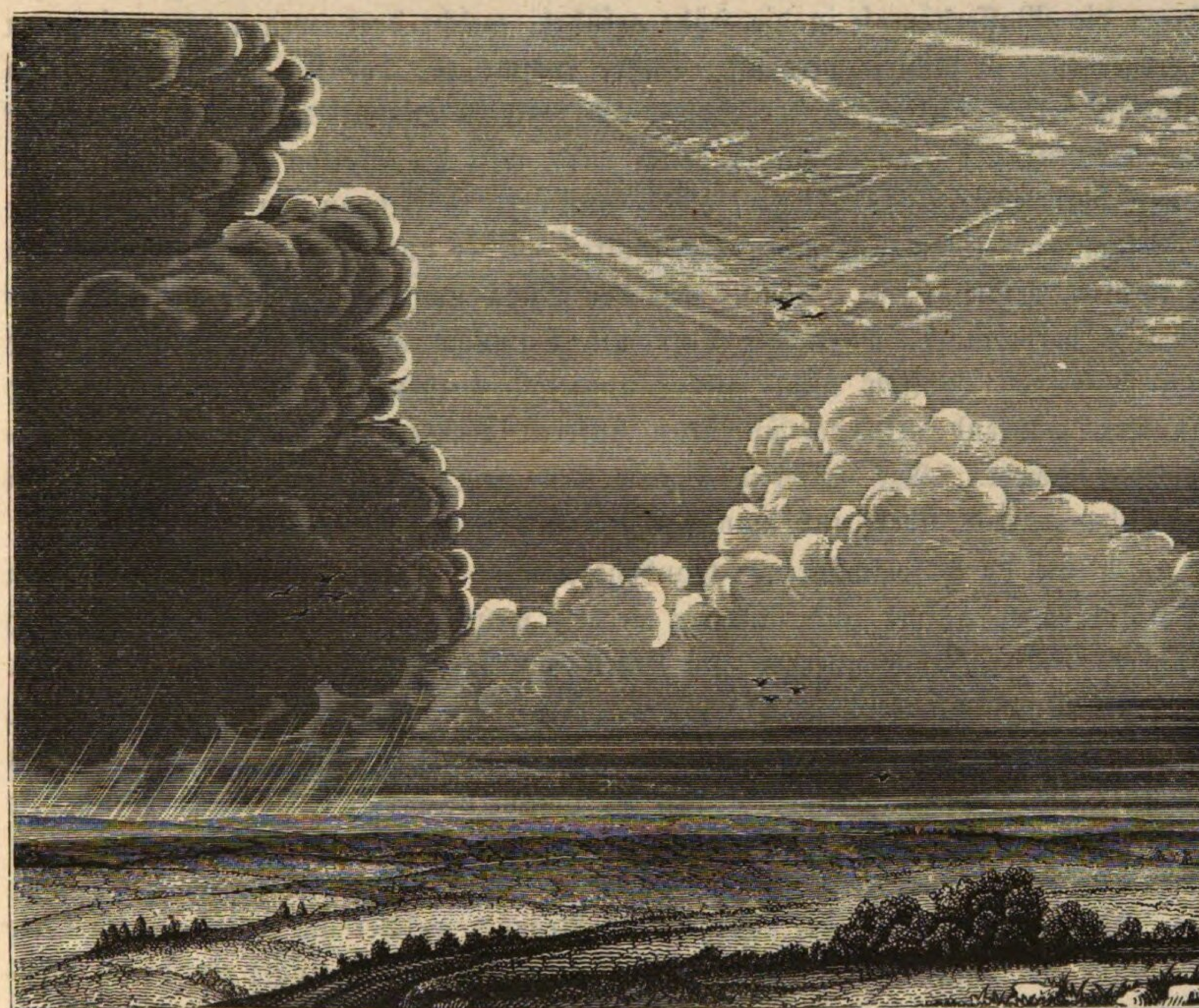
2) Die Haufenwolke, cumulus, welche in unserer Figur gerade unter die Federwolke gezeichnet ist, bildet große halbkugelförmige Massen, welche auf horizontaler Basis zu ruhen scheinen; diese Wolken erscheinen vorzugsweise im Sommer, manchmal thürmen sich Haufenwolken zu malerischen Gruppen zusammen und bieten dann, von der Sonne beschienen, den Anblick ferner Schneegebirge.

3) Die Schichtwolken, stratus, sind horizontale Wolkenstreifen (in unserer Figur unter dem cumulus), welche vorzugsweise bei Sonnenuntergang mit außerordentlicher Farbenpracht erscheinen.

Diese Grundformen gehen auf mannigfaltige Weise in einander über;

Howard hat diese Uebergangsformen durch die Namen cirro-cumulus, cirro-stratus, cumulo-stratus und nimbus bezeichnet.

Fig. 224



Die fedrige Haufenwolke, cirro-cumulus, ist der Uebergang der Federwolke zur Haufenwolke; es sind die kleinen weißen, runden Wölkchen, welche unter dem Namen Schäfchen allgemein bekannt sind.

Wenn die Federwolken nicht einzeln zerstreut, sondern zu Streifen von bedeutender Ausdehnung verbunden sind, so bilden sie die fedrige Schichtwolke, cirro-stratus, welche, wenn sie nahe am Horizonte stehen, den Anblick ausgedehnter Schichten bieten; oft überziehen die cirro-stratus den ganzen Himmel mit einem Schleier.

Wenn die Haufenwolken dichter werden, so gehen sie in die streifige Haufenwolke, cumulo-stratus, über, welche oft den ganzen Horizont mit einem blauschwarzen Farbentone überziehen und endlich in die eigentliche Regenwolke, nimbus (in unserer Figur links), übergehen.

Wenn man bedenkt, wie außerordentlich mannigfaltig an Gestalt sowohl als auch an Farbe die verschiedenen Wolken sein können, so begreift man wohl, daß es oft schwierig ist, zu entscheiden, ob das Ansehen einer Wolke sich mehr dem einen oder dem anderen Typus nähert.

Unter allen Wolkenarten sind die Federwolken die höchsten, denn auf hohen Bergen bieten sie noch denselben Anblick wie im Thale. Kämtz hat zu Halle

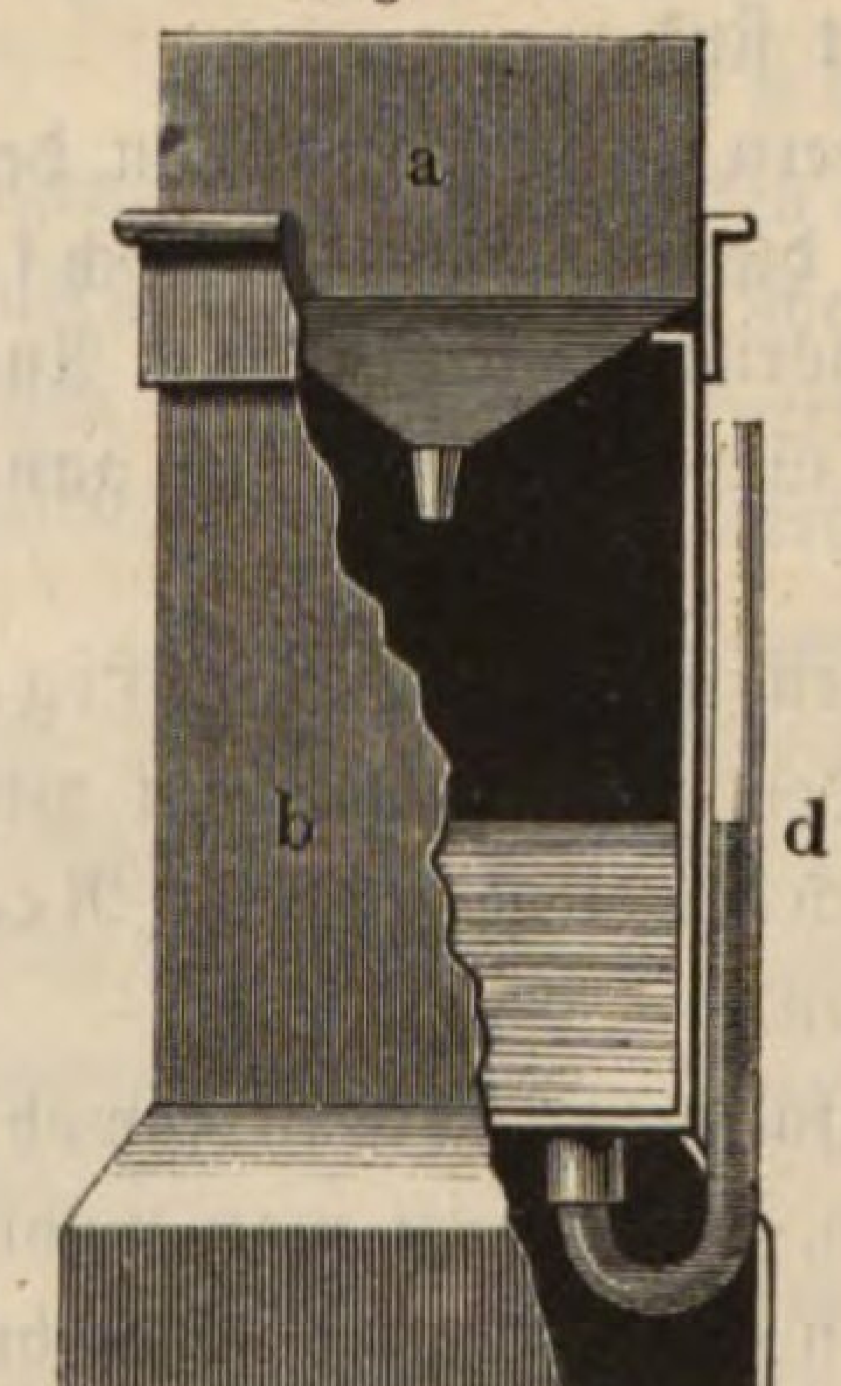
ihre Höhe annähernd zu 20000 Fuß bestimmt. Es ist höchst wahrscheinlich, daß die *cirrus* nicht aus Nebelbläschen, sondern aus Eisnädelchen bestehen.

Die Haufwolken bilden sich gewöhnlich, wenn durch den aufsteigenden Luftstrom die Wasserdämpfe in die Höhe geführt, welche dort, wegen der geringeren Temperatur, verdichtet werden. Daher kommt es, daß sich oft gegen Mittag Wolken bilden, während die Sonne am heiteren Himmel aufgegangen ist, und gegen Abend der Himmel wieder heiter wird, weil die Wolken sich wieder senken, wenn der aufsteigende Strom wieder aufhört; in tieferen wärmeren Regionen angekommen, lösen sich dann die Wolken wieder auf, wenn die Luft nicht mit Dämpfen gesättigt ist. Wenn aber der Südwestwind mehr und mehr Wasserdämpfe herbeiführt, wenn die Luft mit Dämpfen gesättigt ist, so können die sich senkenden Wolken nicht wieder aufgelöst werden, sie werden dichter und dunkler, während oft hoch über den unteren Wolken eine Schicht von Federwolken schwebt. Die unteren Haufwolken gehen dann mehr und mehr in *cumulo-stratus* über, und man hat alsdann Regen zu erwarten.

Wenn durch fortwährende Condensation von Wasserdämpfen die einzelnen Dunstbläschen größer und schwerer werden, wenn endlich einzelne Bläschen sich nähern und zusammenfließen, so bilden sich förmliche Wassertropfen, welche nun als Regen herabfallen. In der Höhe sind die Regentropfen noch sehr klein, sie werden aber während des Fallens größer, weil sie wegen ihrer geringeren Temperatur die Wasserdämpfe der Luftschichten verdichten, durch welche sie herabfallen.

176 **Regenmenge.** Die Menge des Regens, welcher an irgend einem Orte der Erde im Laufe eines Jahres fällt, ist für die Meteorologie ein höchst wichtiges Element. Die Instrumente, deren man sich zu diesem Zwecke bedient, werden Regenmesser, Ombrometer oder Udometer genannt. Die Fig. 225 stellt den gewöhnlichen Regenmesser dar; er besteht aus einem quadratischen Blechgefäß *b*, welches 4 bis 8 Quadratdecimeter im Querschnitt hat und auf welchem ein zweites Gefäß *a* mit trichterartigem Boden aufgesetzt wird. In der Mitte dieses Trichters befindet sich eine Oeffnung, durch welche alles Wasser, welches in Form von Regen in das oben offene Gefäß *a* hineinfällt, in das Behälter *b* abfließt. Die Glasröhre *d* steht mit dem Inneren des Gefäßes *b* durch eine im Boden desselben angebrachte Oeffnung in Verbindung. An dieser, mit einer Theilung versehenen Röhre kann man nun stets die Höhe des Wasserstandes in *b* ablesen. Vorausgesetzt, daß die Querschnitte von *a* und *b* gleich oder doch nicht merklich verschieden sind, giebt die Höhe der Wasserschicht in *b* an, wie hoch sich der Boden in einer gewissen Zeit mit Wasser bedeckt haben würde, wenn es nicht eingeschluckt oder verdunstet wäre.

Fig. 225.



Die folgenden Tabellen geben die Regenverhältnisse verschiedener Orte in Europa.

I. Portugal.

	Lissabon.	Coimbra.	Mafra.	Funchal auf Madeira.
Jährliche Regenmenge	25,4 P. Z.	111,5	41,5	26,0
Im Winter	30,9 Proc.	21,0	53,4	50,6
» Frühling	33,9	18,6	27,5	16,3
» Sommer	3,4	17,6	2,7	2,8
» Herbst	22,8	42,8	16,4	30,3

II. Westliches und südliches England.

	Insel Man.	Bristol.	Liverpool.	Manchester	Lancaster.	Dover.
Jahr	34,8	21,8	32,3	23,9	37,2	44,1
Winter . . .	27,3	20,5	21,6	24,0	26,2	30,3
Frühling . .	18,2	23,8	17,9	20,0	16,1	20,1
Sommer . .	19,7	23,2	27,7	27,0	28,3	21,6
Herbst	34,8	32,5	32,9	29,0	29,4	28,0

III. Inneres und östliches England.

	Oxford.	London.	Dumfries.	Glasgow.	Edinburgh.	Chattsworth.
Jahr	20,6	23,4	34,7	20,0	23,3	25,9
Winter . . .	21,9	23,6	24,6	24,9	23,4	23,2
Frühling . .	19,3	22,4	18,3	17,8	19,9	19,9
Sommer . .	24,4	23,5	25,5	29,9	26,8	27,9
Herbst	34,4	30,5	31,6	27,3	29,9	28,9

IV. Westküste von Frankreich und die Niederlande.

	Bordeaux	LaRochelle.	Franecker.	Rotterdam.	Breda.	Middelburg.
Jahr	24,3	24,2	18,6	21,2	24,7	25,4
Winter . . .	27,7	28,2	21,9	16,5	23,2	21,8
Frühling . .	21,4	19,7	16,8	22,3	18,0	14,1
Sommer . .	24,1	17,9	28,8	29,8	23,9	31,5
Herbst	26,7	34,2	32,5	31,9	34,9	32,6

V. Westrheinische Gegenden.

	Paris	Brüssel.	Cambray.	Metz.	Troyes.	Straßburg.	Coblenz.
Jahr . .	20,8	17,9	16,0	27,2	22,4	25,6	20,9
Winter .	20,7	18,7	13,8	21,6	18,7	16,0	16,2
Frühling .	25,0	23,7	21,9	25	27,4	23,6	24,0
Sommer .	30,5	30,7	33,4	21,1	28,1	34,1	35,0
Herbst . .	23,8	26,9	30,9	31,1	25,8	26,3	24,9

VI. Deutschland.

	Mannheim.	Stuttgart.	Ulm.	Regensburg.	Tegernsee.	Göttingen.	Erfurt.
Jahr . . .	21,0	23,7	25,1	21,1	43,8	24,9	12,6
Winter. .	18,3	20,1	21,3	19,3	16,4	18,4	15,5
Frühling .	23,7	19,8	19,5	17,7	18,5	18,1	21,7
Sommer .	32,6	33,5	36,6	40,1	44,7	35,9	41,0
Herbst . .	25,4	26,6	22,6	22,9	20,4	27,6	21,8

VII. Schweden, Dänemark und Rußland.

	Bergen.	Copenhagen.	Stockholm.	Upsala.	Abo	Petersburg.
Jahr	83,2	17,3	19,2	16,7	24,2	17,1
Winter . . .	26,6	19,1	14,8	17,4	17,7	13,6
Frühling . . .	17,9	15,4	13,3	21,0	18,3	19,4
Sommer . .	21,0	37,7	38,0	32,8	28,0	36,5
Herbst	34,5	27,8	33,9	28,8	36,0	30,5

VIII. Südöstliches Frankreich und die Schweiz.

	Marseille.	Toulon.	Nimes.	Viviers.	Joyeuse.	Bourg en Bresse.	Toulouse.	Dijon.	Genf.	Bern.	Zürich.
Jahr	20,6	17,5	23,7	33,9	47,7	43,3	23,7	23,9	29,8	43,2	32,2
Winter . . .	20,8	23,0	22,3	19,4	20,3	20,8	21,0	17,9	21,6	20,9	20,3
Frühling . .	22,3	24,1	24,0	22,2	23,1	24,6	26,2	25,6	21,8	20,0	23,6
Sommer . .	12,5	9,3	13,9	20,0	16,2	24,4	24,9	27,6	29,7	35,1	33,3
Herbst. . . .	44,4	43,6	39,8	38,4	40,4	30,2	28,8	28,9	26,9	24,0	22,8

IX. Italien.

	Palermo.	Rom.	Genua.	Florenz.	Siena.	Mailand.	Verona.	Padua.	Rovigo.
Jahr	20,7	29,3	44,4	38,7	32,0	35,5	34,6	34,6	30,8
Winter	39,1	31,0	27,2	35,7	19,7	21,1	18,3	19,0	31,0
Frühling	24,3	24,9	28,6	20,9	26,2	24,1	25,4	26,4	27,4
Sommer	5,5	9,7	9,2	12,9	18,2	23,9	26,1	25,6	14,3
Herbst	31,1	34,3	35,0	30,5	36,9	30,9	30,2	29,0	27,3

Die erste Horizontalreihe einer jeden dieser Tabellen giebt die jährliche Regenmenge in Pariser Zollen an, die folgenden Horizontalreihen aber geben an, wieviel Procente der jährlichen Regenmenge auf die einzelnen Jahreszeiten kommen.

Aus der Betrachtung dieser Tabellen ergiebt sich zunächst, daß sich Europa in Beziehung auf die Vertheilung des Regens in drei Provinzen theilen läßt.

In England, auf den Westküsten von Frankreich, in den Niederlanden und Norwegen sind die Herbstregen vorherrschend.

In Deutschland, den westrheinischen Gegenden, Dänemark und Schweden herrschen die Sommerregen vor.

Die Sommerregen fehlen im südöstlichen Frankreich, Italien, dem südlichen Portugal, überhaupt in dem Theile Europas, welcher Afrika zunächst liegt, fast ganz.

Im Allgemeinen nimmt die Regenmenge mit der Entfernung vom Meere ab; bezeichnen wir die jährliche Regenmenge in Petersburg mit 1, so ist die jährliche Regenmenge

in den Ebenen von Deutschland 1,2
im Inneren von England 1,4
an den Küsten von England . . . . 2,1.

Die Regenmenge nimmt mit der Höhe der Orte über der Meeresfläche zu, weil die Berge einen Niederschlag veranlassen, wenn sie von einem Strome feuchter Luft getroffen werden; daher die bedeutende Regenmenge in den Alpen.

An einem und demselben Orte nimmt die Regenmenge mit der Höhe über dem Boden ab, wahrscheinlich weil die Regentropfen, indem sie durch die mit Wasserdampf gesättigte Luft herabfallen, sich fortwährend vergrößern; so fallen z. B. im Hofe des Observatoriums zu Paris im Laufe eines Jahres durchschnittlich 57^{cm}, auf der 28 Meter höher liegenden Terrasse nur 50^{cm} Regen.

Die Anzahl der **Regentage** während eines Jahres nimmt in Europa im Allgemeinen von Süden nach Norden zu. Im Durchschnitt kommen auf das Jahr

im südlichen Europa . . . . 120 Regentage
» mittleren » . . . . 146 »
» nördlichen » . . . . 180 »

Daß die Regenmenge nicht allein von der Zahl der Regentage abhängen kann, ist klar; denn es kommt ja nicht allein darauf an, an wie vielen Tagen es regnet, sondern auch, wie viel es regnet. Wenn in den nördlicheren Gegenden die Zahl der Regentage zunimmt, so nimmt dagegen die Intensität des Regens im Allgemeinen ab, und so erklärt es sich z. B., daß in Petersburg die Zahl der Regentage zwar größer, die Regenmenge aber geringer ist als in Rom.

Mit der Entfernung vom Meere nimmt sowohl die Regenmenge als auch die Zahl der Regentage ab; so kommen z. B. im Durchschnitt

in Petersburg 168
» Kasan 90
» Jakutzk 60

Regentage auf das ganze Jahr.

So wie unter sonst gleichen Umständen der Regen in wärmeren Gegenden intensiver ist als in kälteren, so ist er auch in der warmen Jahreszeit intensiver als in der kalten. Im Durchschnitt kommen in Deutschland auf den Winter 38, auf den Sommer 42 Regentage; die Zahl der Regentage ist also im Sommer kaum etwas bedeutender als im Winter und doch die Regenmege im Sommer ungefähr doppelt so groß als im Winter. In den Sommermonaten fällt oft bei einem einzigen Gewitter mehr Regen als sonst in mehreren Wochen.

Regen zwischen den Wendekreisen. Da, wo die Passatwinde mit großer Regelmäßigkeit wehen, ist der Himmel meistens heiter, und es regnet selten, namentlich wenn die Sonne auf der anderen Hemisphäre steht. Auf den Continenten aber wird die Regelmäßigkeit des Passats gestört durch die Intensität des aufsteigenden Luftstromes, sobald sich die Sonne dem Zenith nähert; um diese Zeit stellt sich auch ein mehrere Monate andauerndes heftiges Regenwetter ein, während die andere Hälfte des Jahres hindurch der Himmel heiter und die Luft trocken ist. 177

Humboldt hat uns die Erscheinungen der nassen Jahreszeit im nördlichen Theile von Südamerika beschrieben. Vom December bis zum Februar ist die Luft trocken und der Himmel heiter. Im März wird die Luft feuchter, der Himmel weniger rein, der Passatwind weht weniger stark, und oft ist die Luft ganz ruhig. Mit Ende März beginnen die Gewitter; sie bilden sich des Nachmittags, wenn die Hitze am größten ist, und sind von heftigen Regengüssen begleitet. Gegen Ende April fängt eigentlich die nasse Jahreszeit an; der Himmel überzieht sich mit einem gleichförmigen Grau, und es regnet täglich von 9 Uhr Morgens bis 4 Uhr Nachmittags; des Nachts ist der Himmel meistens rein. Der Regen wird am heftigsten, wenn die Sonne im Zenith steht. Allmälig wird die Zeit des Tages, in welcher es regnet, immer kürzer, und gegen Ende der Regenzeit regnet es nur Nachmittags.

Die Dauer der Regenzeit ist in verschiedenen Gegenden nicht dieselbe; sie beträgt 3 bis 5 Monate.

In Ostindien, wo die Regelmäßigkeit der Passatwinde durch örtliche Verhältnisse gestört ist und wo statt ihrer die Moussons wehen, finden wir auch normale Regenverhältnisse; an der steilen Westküste von Vorderindien fällt die Regenzeit mit der Zeit unseres Sommers zusammen, sie fällt nämlich in die Zeit, zu welcher die Südmoussons wehen und, mit Feuchtigkeit beladen, an die hohen Gebirge anstoßen. Während es auf der Küste Malabar regnet, ist auf der Ostküste Coromandel der Himmel heiter; hier stellt sich die Regenzeit mit dem Nordostpassat, also gerade zu der Zeit ein, in welcher auf der Westküste die trockene Jahreszeit herrscht.

In der Region der Calmen findet man diese periodischen Regen nicht, es finden hier fast täglich heftige Regengüsse Statt. Der aufsteigende Luftstrom führt eine Masse von Wasserdämpfen in die Höhe, welche sich in den kälteren Regionen wieder verdichten. Die Sonne geht fast immer bei heiterem Himmel auf, gegen Mittag aber bilden sich einzelne Wolken, welche dichter und dichter werden, bis ihnen endlich, meist unter heftigen Windstößen und elektrischen Ent=

ladungen, eine ungeheure Regenmenge entströmt. Gegen Abend zerstreut sich das Gewölk und die Sonne geht wieder bei heiterem Himmel unter.

Die jährliche Regenmenge ist im Allgemeinen in den Tropen sehr groß, sie beträgt z. B. in Bombay 73,5, in Kandy 68,9, in Sierra Leone 80,9, zu Rio Janeiro 55,6, auf St. Domingo 100,9, zu Havannah 85,7 und in Grenada 105 Pariser Zoll. Bedenkt man nun, daß der Regen meist nur auf wenige Monate vertheilt ist und daß es nur an wenigen Stunden des Tages regnet, so ist klar, daß der Regen sehr stark sein muß. In Bombay fiel an einem Tage 5 Zoll, zu Cayenne in 10 Stunden 10 Zoll Regen. Die Regentropfen sind sehr groß und fallen mit solcher Geschwindigkeit nieder, daß sie auf der nackten Haut ein schmerzhaftes Gefühl erzeugen.

Die Karte Tab. XXIII. soll dazu dienen, ein Bild der Vertheilung des Regens auf der Erdoberfläche zu geben, und zwar ist die Schraffirung um so dunkler, je größer die Regenmenge eines Ortes ist. Mau übersieht z. B. aus dieser Karte, daß in der Region der Kalmen die Regenmenge sehr bedeutend ist, während auf dem Meere in der Region der Passate ungleich weniger Regen fällt; daß es auf den Inseln und an den meisten Küsten der größeren Continente mehr regnet als in den Binnenländern u. s. w. Außerdem findet man auf dieser Karte angegeben, in welcher Jahreszeit der Regen vorherrschend ist.

178 **Der Schnee.** Die Wolken, aus welchen Schneeflocken herabfallen, bestehen nicht aus Dunstbläschen, sondern aus feinen Eiskryställchen, welche durch fortwährende Condensation von Wasserdämpfen während ihres Herabfallens wachsen und so die Schneeflocken bilden. Sind die unteren Luftschichten zu warm, so schmelzen die Schneeflocken ehe sie den Boden erreichen, es regnet unten, während es oben schneit.

Wenn bei ruhiger Luft nur spärliche Schneeflöckchen fallen, so zeigen sie überraschend schöne und regelmäßige Kryställchen, welche man am besten beobachten kann, wenn man sie auf einem dunklen unter 0° erkalteten Körper auffängt. Schon Kepler hat auf diese Schneesternchen aufmerksam gemacht. — Scoresby, welcher auf seinen Polarexpeditionen reichlich Gelegenheit hatte, Schneeflocken zu beobachten, giebt in seiner »Reise auf den Walfischfang« die Abbildung von 100 verschiedenen Schneefiguren, welche bei aller Mannigfaltigkeit doch demselben Krystallsysteme angehören, nämlich den drei- und einaxigen, dessen bekannteste Repräsentanten Bergkrystall und Kalkspath sind, und welches vorzugsweise durch reguläre sechsseitige Gestalten und deren Ableitungen charakterisirt ist.

Auch das Eis, wie es sich auf der Oberfläche ruhiger Gewässer bildet, hat eine diesem Krystallsysteme entsprechende Structur, wie sich dies durch die optischen Eigenschaften desselben nachweisen läßt (Lehrbuch der Physik 4te Aufl. Bd. I. Seite 599), obgleich sich an demselben äußerlich keine Krystallflächen auffinden lassen.

Fig. 226 und Fig. 227 zeigen einige Schneefiguren, welche ich im Laufe des Januar und Februar 1855 zu beobachten Gelegenheit hatte. — Bei ge-

nauerer Betrachtung findet man bald, daß die Bestandtheile, aus welchen sich die Schneesternchen zusammensetzen, theils feine Eisnädelchen, theils durchsichtige ganz dünne Eisblättchen sind, welche meist die Gestalt eines regulären Sechsecks haben. Auf diese durchsichtigen Eisblättchen erscheinen dann häufig gleichsam Verstärkungsrippen aufgesetzt, welche nicht wenig zur Verschönerung dieser zierlichen Gestalten beitragen, und welche in dem centralen Theile bald ein regelmäßiges Sechseck, bald einen sechsseitigen Stern bilden, wie man dies in Fig. 226 sieht.

Die Eisnadeln und die aus solchen gebildeten Combinationen, wie man sie in Fig. 225 sieht, beobachtet man in der Regel, wenn die Temperatur der Luft

Fig. 225.

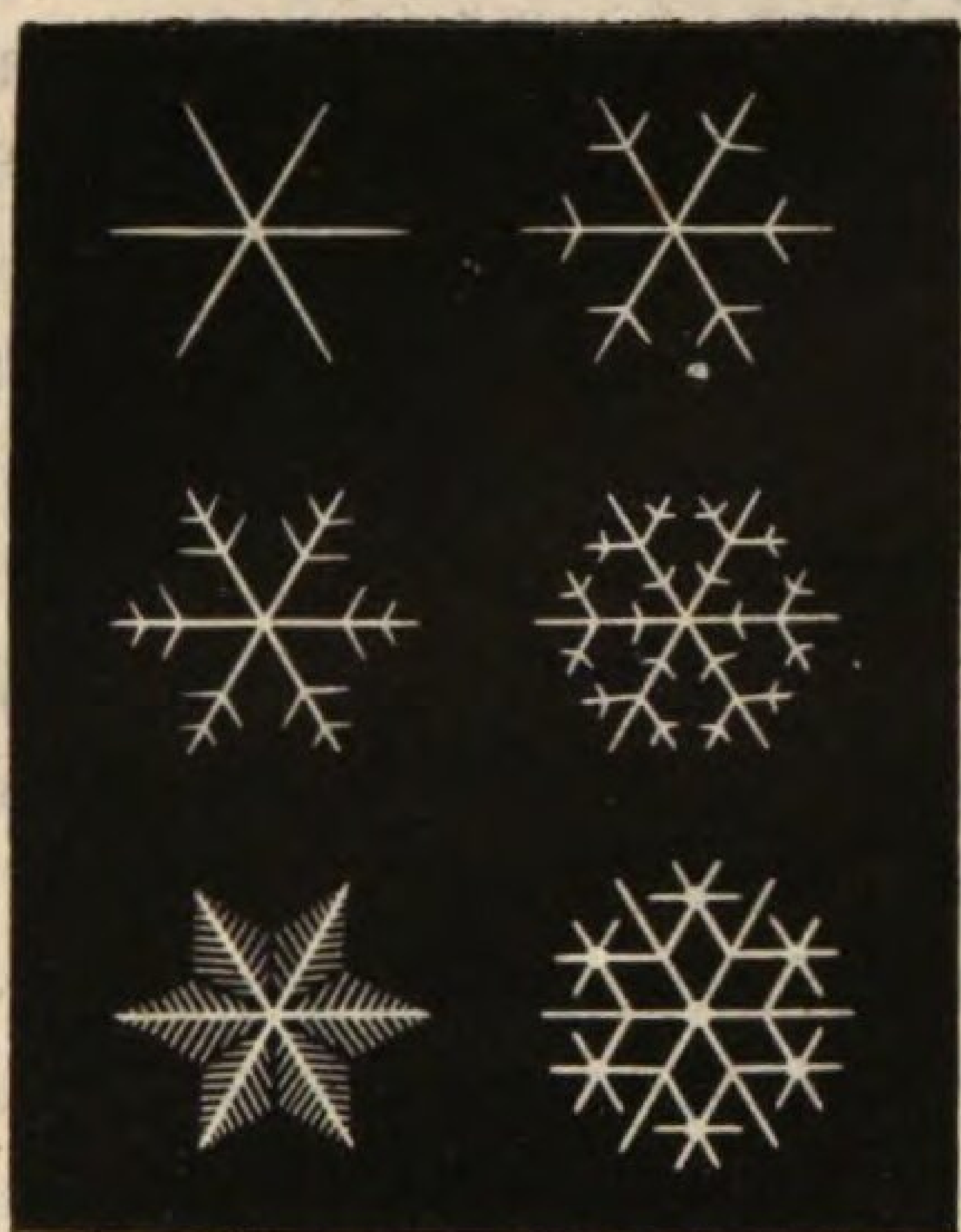
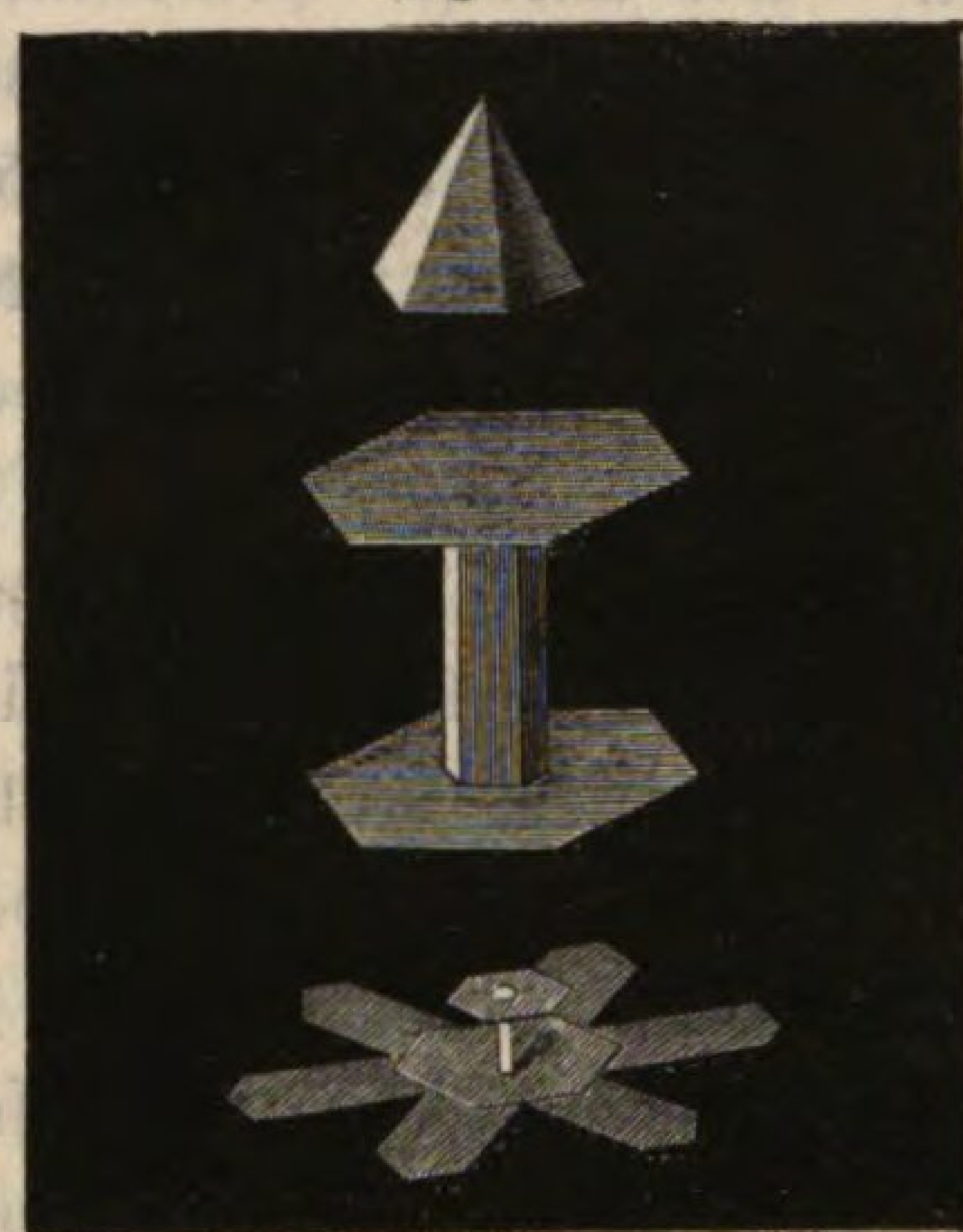
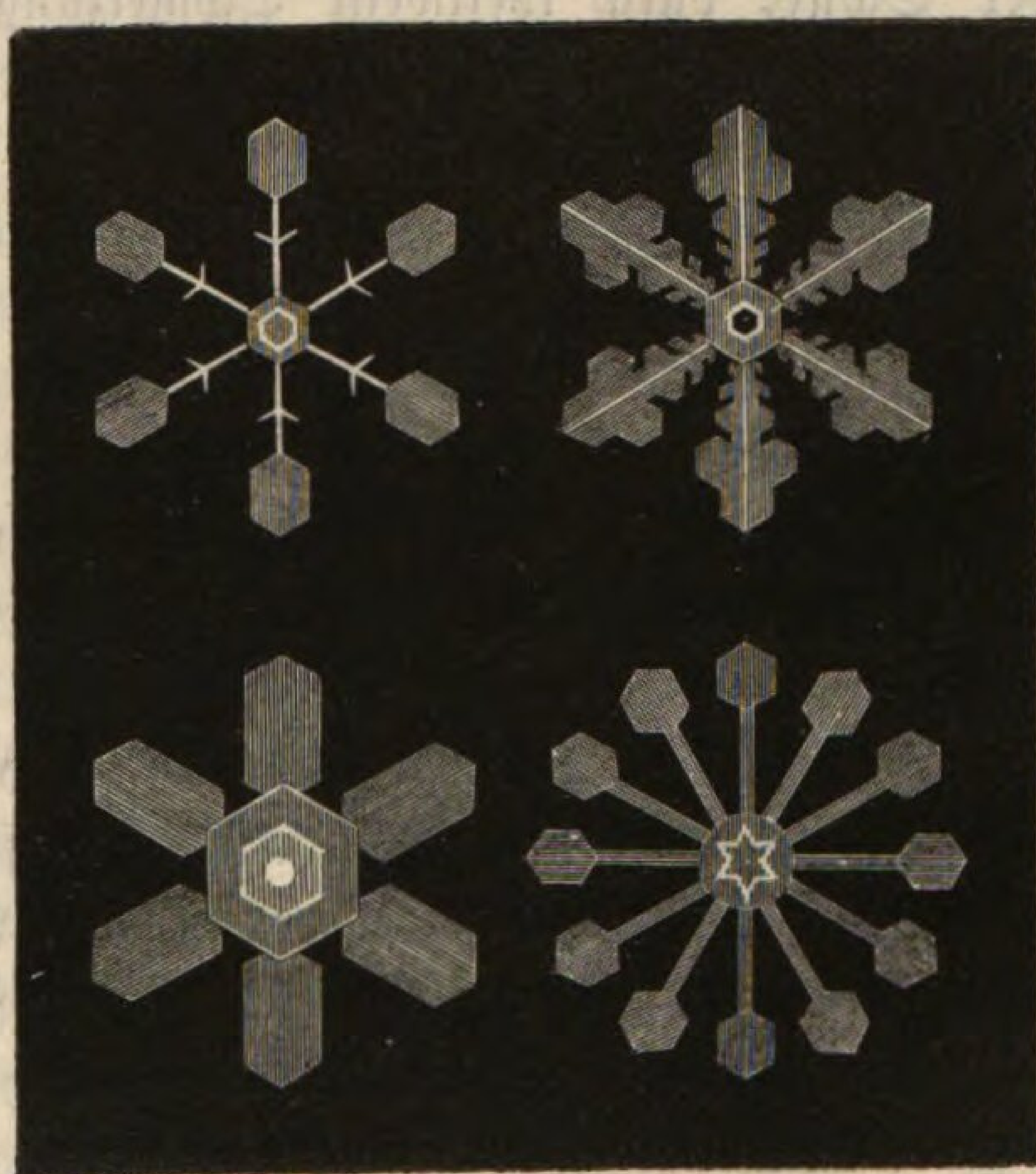


Fig. 227.



während des Schneefalls nur wenig unter den Gefrierpunkt gesunken ist; bei niedrigeren Temperaturen werden die Eisblättchen und die aus ihnen gebildeten

Fig. 226.



Combinationen, wie Fig. 226, häufiger. — Unter einer Temperatur von 12° findet wohl kaum mehr ein Schneefall Statt.

Die bisher betrachteten Schneesternchen Fig. 225 und Fig. 226 sind durchaus flächenhafte Figuren, da sie senkrecht zur Ebene des Sternes nur sehr dünn sind. Körperhaftere Gestalten treten auf, wenn mehrere solcher Schneesternchen den Gesetzen der Zwillingsbildung entsprechend sich so verbinden, daß ihre Ebenen unter Winkeln von 60° sich schneiden, oder auch wenn zwei parallele Schneeblättchen durch eine auf ihrer Ebene senkrechte Säule oder Nadel verbunden sind. Gestalten dieser Art sind die beiden unteren in Fig. 227 (s. v. S.). Bei der ersten dieser Figuren sind zwei sechsseitige Eistäfelchen durch eine sechsseitige Säule verbunden. Scoresby bezeichnet diese Gestalt als eine äußerst selten vorkommende; ich selbst habe solche Schneekryställchen im Januar 1854 beobachtet. Die unterste Combination der Fig. 227, bei welcher ein größerer Schneestern mit einem kleineren Eistäfelchen durch eine Eisnadel verbunden ist, sah ich häufig zu Anfang März 1855. Die oberste dieser drei Gestalten, die sechsseitige Pyramide, welche an die gewöhnlichste Form des Bergkrystalls erinnert, wurde von Scoresby beobachtet; diese Form ist aber gleichfalls eine höchst seltene.

Bei stürmischem Schneefall, wenn die Schneeflocken dicht fallen und in der Luft durcheinander wirbeln, lassen sich die oben besprochenen zierlichen Figuren nicht mehr beobachten; die unter solchen Umständen fallenden Schneeflocken bestehen aus unregelmäßig zusammenhängenden Eisnädelchen.

Im Februar 1855 fand ich den frisch gefallenen Schnee ungefähr 7mal weniger dicht als Wasser, so daß also 7 Cubikfuß frisch gefallenen Schnees ungefähr so viel wiegen wie 1 Cubikfuß Wasser.

Die Oberfläche des Schnees zeigt eine rein weiße Farbe; wo aber der reine Schnee zu etwas großen Massen angehäuft ist, zeigt sich in Höhlungen und Spalten desselben eine schöne blaugrüne Färbung, welche namentlich deutlich hervortritt, wenn der Schnee durch theilweise Schmelzung etwas mit Wasser durchtränkt ist. Es ist dies dieselbe schöne Färbung, welche man in den Spalten und Höhlungen des Gletschereises bewundert.

Der Graupelregen, welchen man gewöhnlich im März und April beobachtet, entsteht auf ähnliche Art wie der Schnee; die Graupelkörner bestehen aus ziemlich fest zusammengeballten Eisnädelchen, sie sind gewissermaßen kleine Schneebällchen.

179 **Der Hagel** unterscheidet sich von den Graupelkörnern dadurch, daß er nicht aus geballten Eisnädelchen, sondern aus dichtem, meist durchsichtigem Eise besteht.

Die gewöhnliche Größe der Hagelkörner ist die einer Haselnuß; sehr häufig fallen kleinere, sie werden aber als weniger gefährlich nicht sonderlich beachtet, oft sind sie aber auch noch weit größer und zerschmettern dann Alles, was sie treffen. Alte Chroniken erzählen von Hagelkörnern, welche so groß gewesen sein sollen wie Elephanten. Ohne uns bei solchen fabelhaften Erzählungen aufzuhalten, wollen wir sogleich zur Aufzählung zuverlässiger Nachrichten übergehen.

Halley erzählt, daß am 9. April 1697 Hagelkörner fielen, welche 10 Loth wogen; Robert Taylor hat am 4. Mai 1697 Hagelkörner gemessen, deren

Durchmesser 4 Zoll betrug. Montignot sammelte den 11. Juli 1753 zu Toul Hagelkörner, welche 3 Zoll Durchmesser hatten. Volta versichert, daß man unter den Hagelkörnern, welche in der Nacht vom 19. auf den 20. August 1787 die Stadt Como und ihre Umgebungen verwüsteten, einige gefunden habe, welche 18 Loth wogen. Nach Nöggerath fielen während des Hagelwetters vom 7. Mäi 1822 zu Bonn Hagelkörner, welche 24 bis 26 Loth wogen.

Die Form der Hagelkörner ist sehr verschieden. In der Regel sind sie abgerundet, manchmal aber auch abgeplattet oder eckig. In der Mitte der Hagelkörner befindet sich in der Regel ein undurchsichtiger Kern, welcher den Graupelkörnern gleicht; dieser Kern ist mit einer durchsichtigen Eismasse umgeben, in welcher sich manchmal einzelne concentrische Schichten unterscheiden lassen; bisweilen beobachtet man abwechselnd durchsichtige und undurchsichtige Eisschichten, endlich hat man auch schon Hagelkörner mit strahliger Structur beobachtet.

Pouillet fand, daß die Temperatur der Hagelkörner — 0,5 bis — 4° beträgt.

Der Hagel geht gewöhnlich den Gewitterregen voran, oder er begleitet sie. Nie, oder wenigstens fast nie, folgt der Hagel auf den Regen, namentlich wenn der Regen einige Zeit gedauert hat.

Das Hagelwetter dauert meistens nur einige Minuten; selten dauert es $^1/_4$ Stunde lang. Die Menge des Eises, welches in so kurzer Zeit den Wolken entströmt, ist ungeheuer; die Erde ist manchmal mehrere Zoll hoch damit bedeckt.

Der Hagel fällt häufiger bei Tage als bei Nacht. Die Wolken, welche ihn bringen, scheinen eine bedeutende Ausdehnung und eine bedeutende Tiefe zu haben; denn sie verbreiten in der Regel eine große Dunkelheit. Man glaubt bemerkt zu haben, daß sie eine eigenthümliche grauröthliche Farbe besitzen, daß an ihrer unteren Gränze große Wolkenmassen herabhängen und daß ihre Ränder vielfach zerrissen sind.

Die Hagelwolken scheinen meistens sehr niedrig zu schweben. Die Bergbewohner sehen öfter unter sich die Wolken, welche die Thäler mit Hagel überschütten; ob jedoch die Hagelwolken immer so tief ziehen, läßt sich nicht mit Sicherheit ausmachen.

Einige Augenblicke vor dem Beginne des Hagelwetters hört man ein eigenthümliches, rasselndes Geräusch. Endlich ist der Hagel stets von elektrischen Erscheinungen begleitet.

Um einen Begriff zu geben, wie weit und wie schnell sich diese furchtbare Geißel verbreiten kann, mögen hier einige nähere Angaben über das Hagelwetter folgen, welches den 13. Juli 1738 Frankreich und Holland durchzog.

Das Hagelwetter verbreitete sich gleichzeitig in zwei parallelen Streifen; der östliche Streifen war schmäler, seine größte Breite betrug 3, seine geringste $^3/_5$ geographische Meilen; der westliche Streifen war an seiner schmalsten Stelle nahe 2, an seiner breitesten 3 Meilen breit. Diese beiden Streifen waren durch einen im Durchschnitt $3^1/_4$ Meilen breiten Streifen getrennt, auf welchem es nur regnete.

Die Richtung dieser Streifen ging von Südwest nach Nordost. Eine von

Amboise nach Mecheln gezogene gerade Linie bildete ungefähr die Mitte des östlichen, eine andere von der Mündung des Indre in die Loire bis Gent gezogene bildete ungefähr die Mitte des westlichen Streifens.

Auf dieser ganzen Länge, welche über 100 Meilen beträgt, fand keine Unterbrechung des Gewitters Statt, und sicheren Angaben zufolge kann man annehmen, daß es sich noch 50 Meilen weiter nach Süden und 50 Meilen weiter nach Norden erstreckte, so daß seine Totallänge über 200 Meilen betrug. Es verbreitete sich mit einer Geschwindigkeit von 16 Meilen in der Stunde von den Pyrenäen, wo es seinen Anfang genommen zu haben scheint, bis zum Baltischen Meere, wo man seine Spur verlor.

Der Hagel fiel nur 7 bis 8 Minuten lang; die Hagelkörner waren theils rund, theils zackig; die schwersten wogen 16 Loth.

Die Zahl der in Frankreich verwüsteten Pfarrdörfer betrug 1039; der Schaden, welchen das Wetter anrichtete, wurde nach officiellen Angaben auf 24,690,000 Franken geschätzt.

Was die Erklärung des Hagels betrifft, so bietet sie zwei Schwierigkeiten; nämlich woher die große Kälte kommt, welche das Wasser gefrieren macht, und dann, wie es möglich ist, daß die Hagelkörner, wenn sie einmal so groß geworden sind, daß sie eigentlich durch ihr Gewicht herabfallen müßten, noch so lange in der Luft bleiben können, daß sie zu einer so bedeutenden Masse erwachsen können.

Was die erste Frage betrifft, so meinte Volta, daß die Sonnenstrahlen an der oberen Gränze der dichten Wolke fast vollständig absorbirt würden, was eine rasche Verdunstung zur Folge haben müsse, namentlich wenn die Luft über den Wolken sehr trocken ist; durch diese Verdunstung solle nun so viel Wärme gebunden werden, daß das Wasser in den tieferen Wolkenschichten gefriert. Wenn aber die Verdunstung des Wassers in den oberen Wolkenschichten durch die Wärme der Sonnenstrahlen veranlaßt wird, so ist nicht einzusehen, warum durch die Verdunstung den tieferen Wolkenschichten so viel Wärme entzogen werden soll.

In Beziehung auf die zweite Frage schlug Volta eine Theorie vor, welche große Celebrität erlangt hat; er nimmt nämlich an, daß zwei mächtige, mit entgegengesetzter Elektricität geladene Wolkenschichten über einander schweben. Wenn nun die noch sehr kleinen Hagelkörner auf die untere Wolke fallen, so werden sie bis zu einer gewissen Tiefe eindringen und sich mit einer neuen Eisschicht umgeben; sie werden sich aber auch mit der Elektricität der unteren Wolke laden und von dieser zurückgestoßen, während die obere sie anzieht; sie steigen also trotz ihrer Schwere wieder zur oberen Wolke in die Höhe, wo sich derselbe Vorgang wiederholt; so fahren sie eine Zeitlang zwischen den beiden Wolken hin und her, bis sie endlich herabfallen, wenn sie zu schwer werden und die Wolken ihre Elektricität verlieren.

Gegen diese Ansicht läßt sich einwenden, daß es schwer denkbar ist, wie die Elektricität ohne eine plötzliche Wirkung, also ohne einen Entladungsschlag, so große Eismassen in die Höhe zu heben vermag, und daß, wenn wirklich die

elektrische Ladung der beiden Wolken auch so stark sein sollte, die Elektricität augenblicklich von einer zur anderen übergehen müßte, namentlich da ja die Hagelkörner eine leitende Verbindung zwischen ihnen herstellen.

Bereits im Januar 1849 theilte mir Fr. Vogel aus Frankfurt a. M. eine Ansicht über Hagelbildung mit, die ein, so viel ich weiß, bis jetzt ganz unbeachtet gebliebenes Element zur Erklärung dieses räthselhaften Phänomens enthält. Vogel meint nämlich, daß der Bläschendampf, welcher die Wolken bildet, ebenfalls weit unter den Schmelzpunkt des Eises erkalten könne, ohne daß ein Erstarren eintritt, wie man dasselbe beim tropfbar flüssigen Wasser beobachtet (Lehrbuch der Physik, 4. Aufl. 2. Bd. S. 479). Wenn nun aus einer höheren Wolkenschicht Graupelkörner durch eine in diesem Zustande befindliche Wolke herabfallen, so muß auf ihnen sich Wasser niederschlagen, welches augenblicklich erstarrt. Der niedrigen Temperatur der Wolke wegen kann auf diese Art in ganz kurzer Zeit eine massenhafte Eisbildung stattfinden.

Es ist nun zunächst die Frage, ob es noch andere Phänomene giebt, welche gleichfalls darauf hindeuten, daß der von Vogel angenommene Zustand der Wolken wirklich existirt, d. h. daß es wirklich Regenwolken gebe, welche weit unter 0° erkaltet sind. (Bei den Schneewolken sind die Wassertheilchen bereits in den festen Zustand übergegangen; denn diese Wolken bestehen aus feinen in der Luft schwebenden Eisnädelchen.)

Ich selbst habe in der That ein solches Phänomen beobachtet. Im Januar 1845 fiel, nachdem das Thermometer einige Tage lang über dem Gefrierpunkt gestanden hatte, ein Regen, welcher den Boden mit einer Eiskruste überzog. Daß diese Erscheinung nicht etwa ein gewöhnliches Glatteis war, versteht sich von selbst, denn der Boden war nicht unter 0° erkaltet, er konnte also nicht die Ursache der Erstarrung sein. Sogar Regenschirme, die doch aus dem warmen Zimmer genommen waren, wurden in kurzer Zeit durch diesen Regen mit einer $\frac{1}{2}$ Linie dicken durchsichtigen Eiskruste überzogen.

Diese auffallende Erscheinung, welche ich als eine ganz vereinzelt stehende Thatsache fast vergessen hatte, erhielt nun durch Vogel's Mittheilung eine große Bedeutung; denn sie liefert den Beweis, daß der von Vogel angenommene Zustand der Wolken wirklich vorkommt. Offenbar bestanden die fallenden Regentropfen aus Wasser, welches unter den Gefrierpunkt erkaltet war, aber erst beim Aufschlagen auf feste Körper erstarrte.

Etwas später als Vogel theilte mir C. Röllner in Hamburg eine ganz ähnliche Ansicht über Hagelbildung mit, ohne daß er wohl von Vogel's Theorie, die meines Wissens noch nirgends publicirt worden war, Kenntniß haben konnte.

Eine schöne Bestätigung der eben vorgetragenen Theorie der Hagelbildung lieferte die am 27. Juli 1850 von Barral und Bixio zu Paris unternommene Luftfahrt. — Der Himmel, welcher bis Mittag vollkommen rein gewesen, begann um 1 Uhr, als die Füllung des Ballons beendigt war, sich mit Wolken zu überziehen und alsbald trat Regen ein, welcher bis 3 Uhr in Strömen her-

abfiel. Erst um 4 Uhr, als der Himmel noch ganz bedeckt war, konnte die Fahrt begonnen werden.

Folgendes sind einige Temperaturbeobachtungen, welche sie in den beigesetzten durch das Barometer bestimmten Höhen beobachteten.

Nr. 1 . .	16° C. . .	2300 Par. Fuß
» 2 . .	9 » . .	6000 » »
» 3 . .	— 0,5 » . .	11250 » »
» 4 . .	— 7,0 » . .	15360 » »
» 5 . .	— 10,5 » . .	18990 » »
» 6 . .	— 35,0 » . .	19530 » »
» 7 . .	— 39,0 » . .	21060 » »

Kurz nach dem Aufsteigen sahen sich die Luftschiffer in einen leichten Nebel eingehüllt; bei der Beobachtung Nr. 2, also in einer Höhe von ohngefähr 6000 Fuß, hatten sie bereits eine Wolkenschicht unter sich, welche Paris verdeckte.

Bei der Beobachtung Nr. 4, also in einer Höhe von 15360 Fuß, wurde der Nebel so dicht, daß ihnen die Erde vollständig verschwand. Bei Nr. 5 wurde der Nebel etwas dünner, so daß man ein weißes blasses Sonnenbild sehen konnte, zugleich fielen äußerst feine Eisnädelchen nieder; kurz darauf erhoben sie sich aus der Wolkenschicht, wobei das Thermometer rasch auf — 23,8° C. fiel. Bei den Beobachtungen Nr. 6 und Nr. 7 war der Himmel vollkommen heiter.

Barral und Bixio durchstiegen also eine Nebelschicht von wenigstens 12000 Fuß Höhe. Von einer Höhe von ungefähr 11000 Fuß an sank das Thermometer unter den Gefrierpunkt, und doch ging der Nebel erst in einer Höhe von nahe 18000 Fuß bei einer Temperatur von — 10° in Schneewolken (Eisnädelchen) über, es war also eine ohngefähr 7000 Fuß hohe Wolke vorhanden, in welcher der Bläschendampf unter den Gefrierpunkt erkaltet war.

Viertes Buch.

Die elektrischen und magnetischen Erscheinungen auf der Erdoberfläche.

Erstes Capitel.

Atmosphärische Elektricität.

Entdeckung der atmosphärischen Elektricität. Otto von 180
Guerike, der berühmte Erfinder der Luftpumpe, war der Erste, welcher eine elektrische Lichterscheinung beobachtete. Als später, 1708, Wall einem großen geriebenen Harzcylinder kräftige elektrische Funken entlockte, kam er alsbald auf den glücklichen Gedanken, denselben mit dem Blitze zu vergleichen. »Dieser Funken und dieses Knacken,« sagt Wall in seiner Abhandlung (Philosoph. Transactions), »scheinen gewissermaßen den Blitz und den Donner darzustellen.« Die Analogie war überraschend; um aber ihre Wahrheit darzuthun, um in einer so kleinen Erscheinung die Ursache und die Gesetze von einer der großartigsten Naturerscheinungen zu erkennen, bedurfte es directer experimenteller Beweise.

Die Aehnlichkeit zwischen dem elektrischen Funken und dem Blitze trat noch deutlicher hervor, als die Entdeckung der Leidner Flasche und der elektrischen Batterie gemacht worden war; Franklin war jedoch der Erste, welcher daran dachte, das von ihm aufgefundene Ausströmen oder Einsaugen der Elektricität durch Spitzen zu benutzen, um unmittelbar die elektrische Natur der Gewitterwolken nachzuweisen und sich durch solche Spitzen vor den Entladungen derselben zu schützen. Da er aus Mangel an Hülfsmitteln die entsprechenden Versuche nicht selbst anstellen konnte, so munterte er die Physiker Europas auf, dieselben zu verfolgen. Der Erste, welcher dieser Aufforderung Folge leistete, war Dalibard, ein französischer Physiker, welcher zu Marly-la-Ville eine Hütte bauen ließ, über welcher eine am unteren Ende isolirte Eisenstange von 40 Fuß Länge aufgerichtet wurde. Als am 10. Mai 1752 eine Gewitterwolke über die Stange hinwegzog, ließen sich aus dem isolirten Ende derselben Funken ziehen, und überhaupt zeigte es alle Erscheinungen, welche man am Conductor der Elektrisirmaschine beobachtet.

Unterdessen hatte aber auch Franklin selbst seine Idee weiter verfolgt. Mit Ungeduld erwartete er die Vollendung eines Glockenthurmes, welcher damals zu Philadelphia aufgeführt werden sollte; endlich aber, des Wartens müde, nahm er zu einem anderen Mittel seine Zuflucht, welches noch sicherere Resultate geben mußte. Da es ja nur darauf ankam, einen Leiter hoch genug in die Luft zu erheben, so dachte Franklin, daß ein Drache, ein Spielwerk der Kinder, ihm eben so gut dienen könnte, wie der höchste Thurm. Er verfertigte also einen Drachen, zu welchem er statt des Papiers, welches vom Regen aufgeweicht und dann leicht vom Winde zerrissen worden wäre, ein großes seidenes Tuch verwendete. Am oberen Ende des verticalen Stabes im Drachen befestigte er eine eiserne Spitze, welche mit der Schnur in leitende Verbindung gebracht wurde, an welcher man die ganze Vorrichtung steigen ließ.

Mit diesem Drachen begab sich Franklin, nur von seinem Sohne begleitet, ins Freie, als ein Gewitter aufstieg. Eine Wolke, welche viel versprach, zog über dem Drachen hin, ohne irgend eine Wirkung hervorgebracht zu haben; andere zogen vorüber, und es zeigte sich kein Funken, kein Zeichen von Elektricität, ohne Zweifel, weil die Schnur ein zu schlechter Leiter der Elektricität war; endlich, nachdem sie durch den Regen feucht und in Folge dessen besser leitend geworden war, fingen die Fasern am unteren isolirten Ende der Schnur an, sich aufzustellen, und es ließ sich ein schwaches Geräusch hören. Dadurch ermuthigt, hielt Franklin den Finger gegen das Ende der Schnur, und siehe da, ein Funken sprang über, welchem bald mehrere folgten.

Franklin hatte diesen Versuch im Juni 1752 angestellt. Durch Franklin's ersten Gedanken geleitet, war auch De Romas zu Nerac auf die Idee gekommen, einen Drachen statt der hochgestellten Spitzen anzuwenden.

Ohne von Franklin's Resultaten Kunde zu haben, erhielt er mit seinem Drachen im Juni 1753 sehr kräftige Zeichen von Elektricität, weil er den glücklichen Gedanken hatte, in die Schnur ihrer ganzen Länge nach einen feinen Metalldraht einflechten zu lassen (Mém. des Savans étrangers, Tome II.). Im Jahre 1757 wiederholte De Romas seine Versuche und erhielt Funken von überraschender Größe. »Man denke sich,« sagt er, »Feuerstreifen von 9 bis 10 Fuß Länge und 1 Zoll Dicke, von einem Krachen begleitet, welches eben so stark, ja stärker ist, als ein Pistolenschuß. In weniger als einer Stunde erhielt ich wenigstens 30 solcher Funken, tausend andere nicht zu zählen, welche 7 und weniger Fuß lang waren (Mém. des Savans étrangers, Tome VI.).

Um das untere Ende der leitenden Schnur gehörig zu isoliren, band De Romas eine seidene Schnur von 8 bis 10 Fuß Länge daran; statt die Funken, wie es Franklin gethan hatte und was ihm leicht hätte gefährlich werden können, mit der Hand auszuziehen, wandte er zu diesem Zweck einen eignen Funkenzieher, d. h. einen metallischen Leiter an, welcher mit dem Boden in leitender Verbindung stand. Trotz aller dieser Vorsichtsmaßregeln aber wurde er einmal durch einen Schlag, der ihn selbst traf, zu Boden geworfen.

Feste Sammelapparate für atmosphärische Elektricität. Durch 181
diese Versuche war nun die Identität des Blitzes und der elektrischen Funken vollständig nachgewiesen; sie wurden vielfach, zum Theil in höchst unvorsichtiger Weise wiederholt, indem man zum Ansammeln der atmosphärischen Elektricität theils den elektrischen Drachen oder, weil seine Anwendung doch mit mannigfachen Schwierigkeiten und Umständlichkeiten verbunden ist, eiserne Spitzen auf isolirenden hölzernen Stangen befestigt anwandte, von denen man die Elektricität durch isolirte Leitungsdrähte bis zum Beobachtungsorte führte.

Im großartigsten Maßstabe führte Crosse zu Broomfield bei Taunton einen solchen Sammelapparat aus. Auf einigen der höchsten Bäume seines Parkes wurden Stangen befestigt, welche die wohl isolirten oberen Enden der Leitungsdrähte trugen; alle diese Leitungsdrähte liefen auf der Spitze eines in dem Boden befestigten Mastes zusammen, von wo ein ebenfalls wohl isolirter starker Kupferdraht in das Beobachtungszimmer hineingeleitet war, wo er in einem großen, gut isolirten messingenen Conductor endete; diesem Conductor gegenüber stand ein Funkenzieher, welcher zu einem benachbarten Teiche abgeleitet war und dessen messingene Kugel mittelst einer Schraube dem ersten Conductor nach Belieben näher oder ferner gebracht werden konnte. Durch einen mit einem gläsernen Handgriffe versehenen Hebel konnte man die Elektricität schon außerhalb des Beobachtungsraumes in den Boden ableiten, wenn die Entladungen zu stark wurden oder wenn überhaupt die Beobachtungen eingestellt werden sollten.

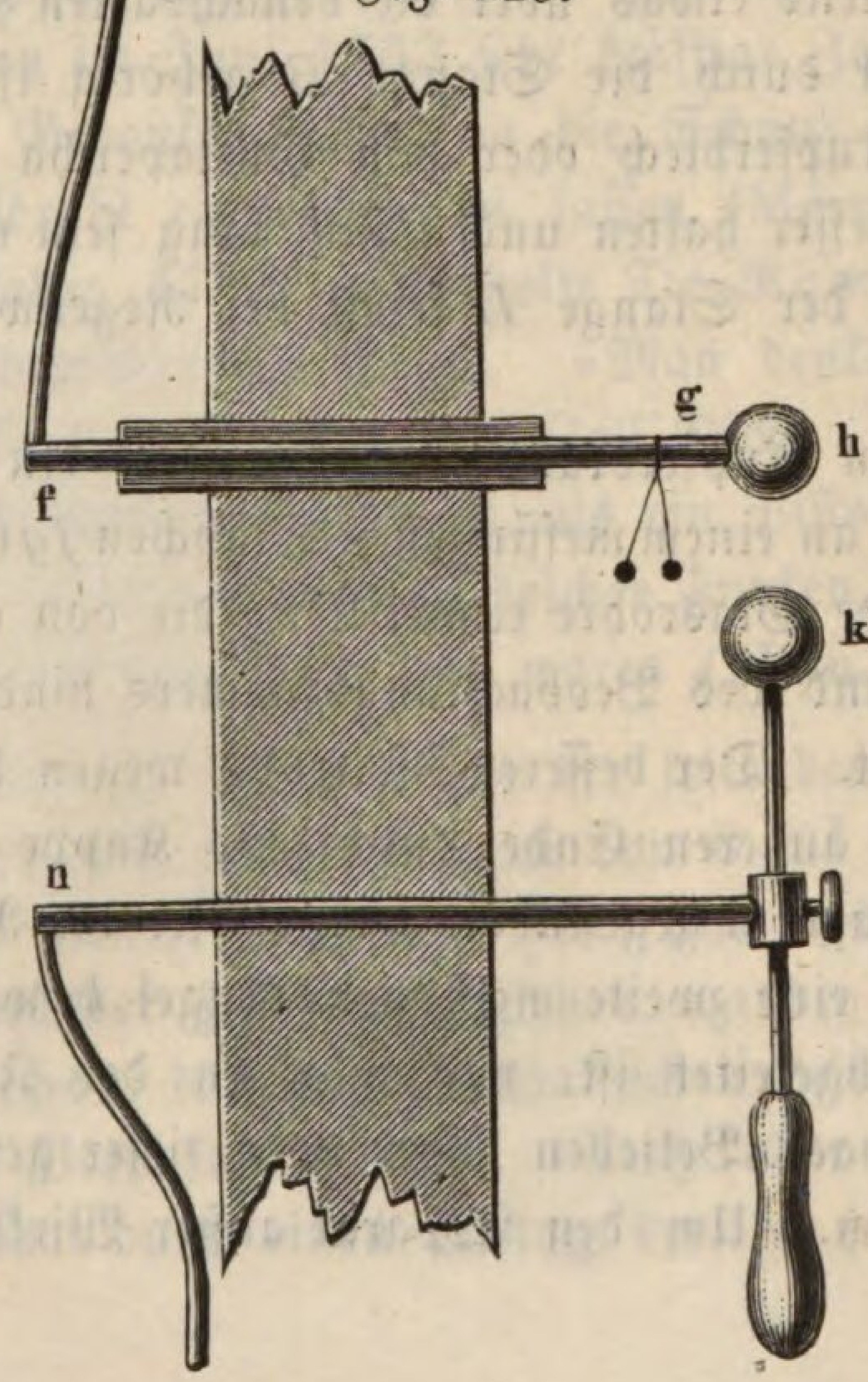
Solche feste Sammelapparate lassen sich nun auch in kleinerem Maßstabe und mit geringeren Kosten ausführen. Fig. 228 (a. f. S.) stellt eine solche Vorrichtung dar; eine eiserne oder messingene, oben zugespitzte Stange A von 2 bis 3 Fuß Länge ist auf dem obern Ende einer 20 bis 30 Fuß hohen hölzernen Stange B angebracht, welche selbst auf dem höchsten Gipfel des Beobachtungsgebäudes befestigt ist. Es ist gut, wenn das Gebäude, auf welchem man die Saugspitzen aufrichtet, möglichst frei steht oder wenigstens etwas über die benachbarten Häuser hervorragt. Damit die Saugspitze A durch die Stange B gehörig isolirt sei, ist dieselbe mit einem Hut C von Kupferblech oder von Guttapercha versehen, welcher ungefähr 3 Zoll im Durchmesser halten und 1 Fuß lang sein mag; durch diesen Hut wird das obere Ende der Stange B selbst bei Regenwetter trocken erhalten.

Von der Saugspitze A ist nun ein Kupferdraht d (am besten ein mit Guttapercha überzogener) herabgeleitet und an einem messingenen Stäbchen fg (Fig. 229) befestigt, welches, in eine isolirende Glasröhre eingekittet, die von oben herabkommende Elektricität durch die Wand des Beobachtungszimmers hindurch zu der ungefähr einzölligen Kugel h führt. Der besseren Isolirung wegen kann auch die Glasröhre wenigstens an ihrem äußeren Ende durch eine Kappe von Guttapercha verschlossen sein. Dieser Kugel h gegenüber, welche hier die Rolle des ersten Conductors spielt, befindet sich eine zweite messingene Kugel k, welche als Funkenzieher dienend zum Boden abgeleitet ist, wie man in der Figur sehen kann. Diese zweite Kugel kann nach Belieben höher oder tiefer gestellt und so ihr Abstand von h regulirt werden. Um den Apparat außer Wirksam-

Fig. 228.



Fig. 229.



keit zu setzen, hat man nur zwischen *f* und *n* auf irgend eine zweckmäßige Weise eine leitende Verbindung herzustellen.

Wenn die Luftelektricität einen gewissen Grad von Stärke erreicht hat, so divergiren die bei *g* angehängten elektrischen Pendel; wird sie noch stärker, so schlagen zwischen *h* und *k* Funken über, und man kann alsdann an der Kugel *h* eine Leidner Flasche oder eine ganze Batterie laden, wie an dem Conductor einer Elektrisirmaschine.

182 **Die Blitzableiter.** Franklin's praktischer Geist wandte alsbald seine an elektrischen Drachen gemachten Erfahrungen auf die Construction der Blitzableiter an. Im Wesentlichen bestehen dieselben aus einer zugespitzten Metallstange, welche in die Luft hineinragt, und einem guten Leiter, welcher die Stange mit dem Boden verbindet. Folgende Bedingungen müssen erfüllt sein, wenn sie ihrem Zweck entsprechen sollen:

1) die Stange muß in eine sehr feine Spitze zulaufen;

2) die Verbindung mit dem Boden muß vollkommen leitend sein;

3) von der Spitze bis zum unteren Ende der Leitung darf keine Unterbrechung stattfinden;

4) alle Theile des Apparates müssen die gehörigen Dimensionen haben.

Wenn eine Gewitterwolke über dem Blitzableiter schwebt, so werden die verbundenen Elektricitäten des Stabes und der Leitung zerlegt, diejenige Elektricität wird abgestoßen, welche mit der der Wolke gleichnamig ist, und sie kann sich frei im Boden verbreiten, die entgegengesetzte Elektricität aber wird nach der Spitze gezogen, wo sie frei in die Luft ausströmen kann; auf diese Weise ist keine

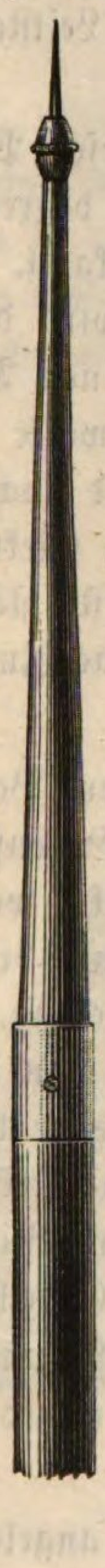
Anhäufung von Elektricität im Blitzableiter möglich. Während so der Blitzableiter in Thätigkeit ist, während ihn die entgegengesetzten Elektricitäten in entgegengesetzter Richtung durchströmen, kann man sich ihm ohne Gefahr nähern, man kann ihn ohne Gefahr berühren; denn wo keine elektrische Spannung vorhanden ist, ist auch kein Schlag zu befürchten.

Nehmen wir nun an, eine der drei zuerst genannten Bedingungen sei nicht erfüllt, die Spitze sei stumpf, die Leitung zum Boden sei unvollkommen oder unterbrochen, so ist klar, daß eine Anhäufung von Elektricität im Blitzableiter nicht allein möglich, sondern auch, daß sie unvermeidlich ist; er bildet dann einen geladenen Conductor, in welchem eine ungeheure Menge von Elektricität angehäuft sein kann; man kann bald schwächere, bald stärkere Funken aus ihm ziehen.

Wenn nur die Spitze stumpf ist, so kann der Blitz einschlagen, allein er wird der Leitung folgen, ohne dem Gebäude zu schaden.

Wenn die Leitung unterbrochen oder die Verbindung mit dem Boden unvollkommen ist, so kann der Blitz ebenfalls einschlagen, er wird sich aber auch seitwärts auf andere Leiter verbreiten und eben solche Zerstörungen anrichten, als ob gar kein Blitzableiter vorhanden gewesen wäre.

Fig. 230.



Noch mehr: ein Blitzableiter, welcher diesen Fehler hat, ist sehr gefährlich, selbst wenn der Blitz nicht einschlägt; denn wenn an irgend einer Stelle die Leitung der Elektricität hinlänglich angehäuft ist, so kann ein Funken seitwärts überschlagen, welcher nahe Gegenstände zertrümmern oder entzünden kann. Man kann dafür ein trauriges Beispiel anführen. Richmann, Professor der Physik in Petersburg, wurde von einem Funken plötzlich getödtet, welcher dem Blitzableiter entfuhr, der in sein Haus heruntergeleitet war und dessen Leitung er unterbrochen hatte, um die Elektricität der Wolken zu untersuchen. Sokolow, Kupferstecher der Akademie, sah, wie der Funken Richmann auf die Stirn traf.

Nachdem wir angegeben haben, welche Bedingungen erfüllt sein müssen, wenn ein Blitzableiter wirksam sein soll, und welche Gefahren daraus entspringen, wenn man sie vernachlässigt, bleibt noch Einiges über die praktische Ausführung der Blitzableiter zu sagen übrig. Gay-Lussac hat unter den Auspicien der Akademie der Wissenschaften eine treffliche Instruction über diesen Gegenstand verfaßt. Nach dieser soll die Spitze des Blitzableiters die Fig. 230 dargestellte Einrichtung haben. Auf einer 8,6 Meter langen Eisenstange ist ein 0,6 Meter langer, etwas konischer Messingstab eingeschraubt und dann noch mit einem Querstift befestigt. Oben ist in diesem Messingstab eine Platinnadel von 0,05 Meter Länge mit Silber eingelöthet und die Verbindungsstelle mit einer Hülle von Messing umgeben.

In Deutschland macht man gewöhnlich auch die Spitze der Blitzableiter von Eisen, vergoldet sie oben, um zu verhindern, daß sie rostet und dadurch abgestumpft wird.

Die Stange des Blitzableiters, welche in verschiedener Weise auf dem Gebäude befestigt werden kann, muß nun mit dem feuchten Boden durch eine metallische Leitung verbunden werden. Es dienen dazu gewöhnlich eiserne Stangen oder starke Kupferdrähte. Wenn irgend ein Brunnen in der Nähe ist, welcher nicht austrocknet, oder wenn man ein Loch bis zur Tiefe bohren kann, in welcher sich beständig Wasser findet, so reicht es hin, die Stange hineinzuleiten, indem man sie in mehrere Arme theilt. Um die Berührungspunkte zu vermehren, führt man die Stange durch Windungen zu dem Brunnen oder dem Bohrloche, welche man dann mit Holzkohlen ausfüllt. Dies gewährt den doppelten Vortheil, daß auf diese Weise das Eisen besser vor Rost geschützt wird und daß es mit einem sehr guten Leiter, der Kohle, in Berührung ist.

Wenn man kein Wasser in der Nähe hat, muß man die Stange wenigstens durch einen langen Canal, der mit Kohlen ausgefüllt wird, an einen feuchten Ort leiten. Der größeren Sicherheit wegen kann man die Leitstange auch noch in Seitencanäle verzweigen.

Wenn man leicht einsieht, daß der Blitz nicht in einen nach diesen Principien construirten Blitzableiter schlägt, so ist es nicht schwieriger, zu begreifen, daß er auch in einiger Entfernung vom Blitzableiter nicht einschlagen kann. Die Elektricität, welche in reichlichem Maße durch die Spitze ausströmt, wird durch die Gewitterwolke angezogen und neutralisirt, daselbst angekommen, einen Theil der ursprünglichen Elektricität dieser Wolke. Wenn also eine Gewitterwolke dem Blitzableiter nahe genug ist, um vertheilend wirken zu können, so wird auch sogleich ihre elektrische Kraft durch das Zuströmen der entgegengesetzten Elektricität aus der Spitze geschwächt. Je mehr sich die Wolke nähert, desto stärker wirkt ihre vertheilende Kraft, desto mehr wird sie aber auch durch das Zuströmen der entgegengesetzten Elektricität neutralisirt.

Die Wirksamkeit des Blitzableiters ist jedoch noch an einige andere Bedingungen geknüpft. Wenn er von anderen in der Nähe befindlichen Gegenständen überragt wird, so kann die Elektricität der Wolke auf diese stärker wirken als auf den Blitzableiter, es ist also ein Schlag möglich; ebenso wenn bedeutende Metallmassen, etwa eiserne Stangen oder eine metallische Dachbedeckung, sich in der Nähe des Blitzableiters befinden. In dem letzteren Falle muß man diese Metallmassen möglichst gut in leitende Verbindung mit dem Blitzableiter bringen, damit die angezogene Elektricität ungehindert durch die Spitze ausströmen kann. Es ist demnach gefährlich, die metallene Dachbedeckung von dem Blitzableiter zu isoliren, wie dies einige Praktiker vorgeschlagen haben. Glücklicher Weise sind die Mittel, welche sie zur Isolirung angewandt haben, nicht ausreichend, um ihren Zweck zu erfüllen, und so haben sie nur etwas Unnützes gemacht.

Die Erfahrung zeigt, daß ein mit allen Vorsichtsmaßregeln angelegter

Blitzableiter von den angegebenen Dimensionen einen Umkreis von ungefähr 20 Metern Radius schützt.

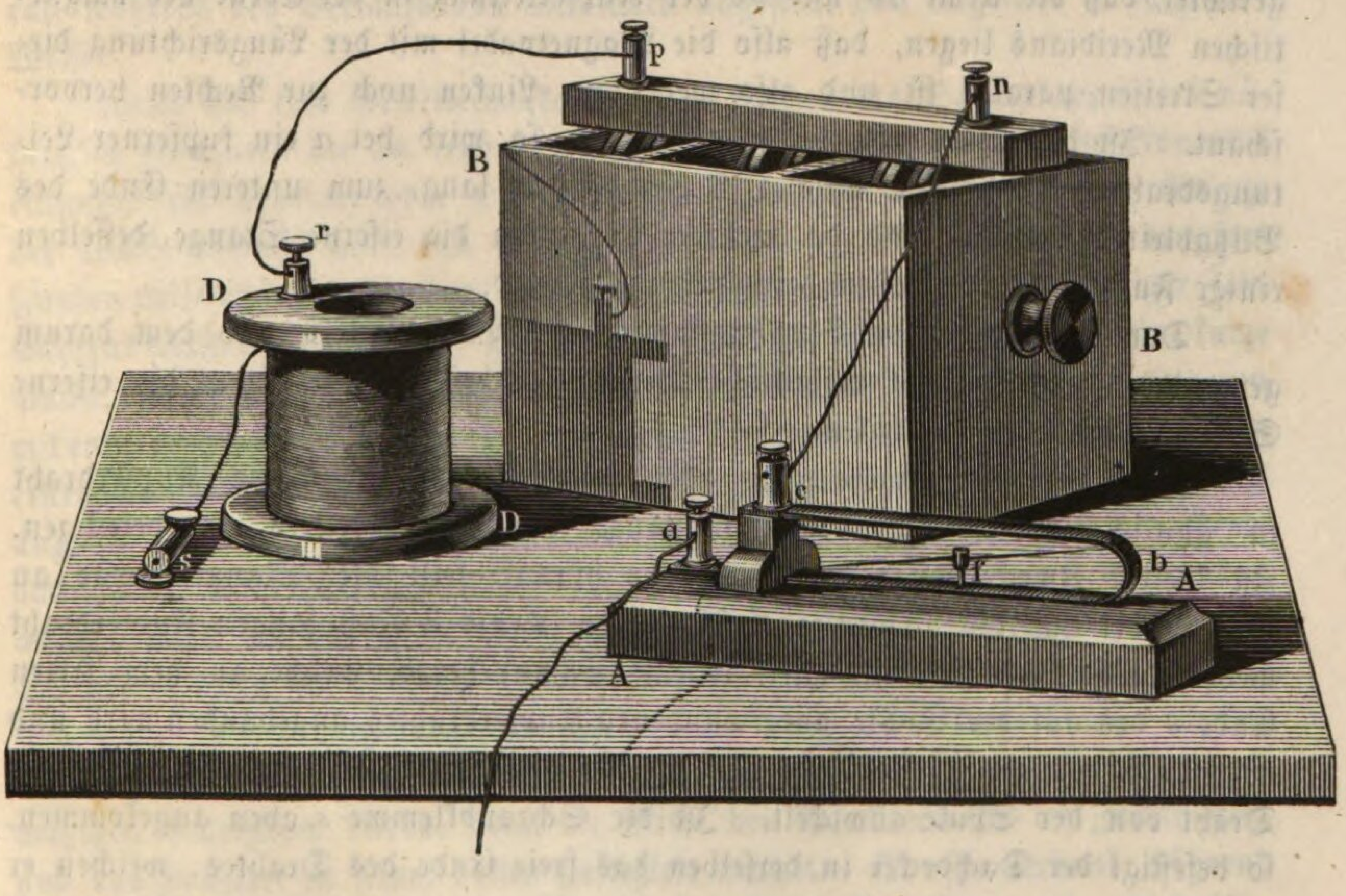
Galvanische Prüfung der Blitzableiter. Da bei einem guten Blitzableiter nothwendig von der Spitze bis zum Boden eine vollkommen metallische Leitung stattfinden muß, so ist es wichtig, sich auf eine einfache Weise davon überzeugen zu können, daß diese Bedingung wirklich erfüllt ist; ein zweckmäßiges Mittel zu einer solchen Prüfung liefert uns nun der galvanische Strom. Befestigt man an der Spitze des Blitzableiters einen mit Seide übersponnenen Kupferdraht, welcher bis zum Boden herunter reicht; verbindet man dann sein unteres Ende mit dem einen Pol eines einfachen galvanischen Plattenpaares, während vom anderen Pole desselben ein Leitungsdraht zum unteren Ende des Blitzableiters führt, so muß ein galvanischer Strom die ganze Kette durchlaufen, wie man erkennt, wenn man ein Galvanometer in diesen Schließungsbogen einschaltet. 183

Zur galvanischen Prüfung eines Blitzableiters gehören also:

1) ein Galvanometer,
2) eine galvanische Säule,
3) ein Leitungsdraht.

Ein gewöhnliches Galvanometer mit astatischem, an einem Coconfaden hängendem Nadelpaare dürfte zu unserem Zwecke wohl zu zerbrechlich sein und außerdem ist es auch zu empfindlich; zur galvanischen Prüfung der Blitzableiter genügt eine einfache, auf einer Stahlspitze spielende Magnetnadel, um welche der Strom durch einen Kupferstreifen herumgeleitet wird. In Fig. 231 ist eine solche Vorrich-

Fig. 231.



tung bei *A* in $1/3$ der natürlichen Größe dargestellt. Auf einem Brettchen ist ein ungefähr 1 Centimeter breiter Kupferstreifen befestigt, welcher bei *b* so gebogen ist, daß er zwei horizontale Arme *ab* und *bc* bildet, von denen der untere etwas länger ist. Bei *c* sind die beiden Enden durch ein Holzklötzchen getrennt. Bei *f* ist auf dem unteren Arme des Kupferstreifens eine Stahlspitze eingelassen, auf welcher die Magnetnadel spielt. Bei *a* und *c* sind Klemmschrauben angebracht, in welche die Zuleitungsdrähte eingeschraubt werden.

Als Elektromotoren könnte man Bunsen'sche oder Daniell'sche Becher anwenden; allein für solche, welche weniger mit der Handhabung dieser Apparate vertraut sind, ist doch eine Wollaston'sche Säule von etwa 6 Plattenpaaren vorzuziehen, die, an einem gemeinschaftlichen Brette befestigt, in einen rechteckigen Trog *BB* eingesenkt werden können, welcher keine Scheidewände zu enthalten braucht und welcher eine Mischung von 1 Thl. Schwefelsäure auf 15 bis 20 Thle. Wasser enthält. An den beiden Polen dieser Säule sind die Klemmschrauben *p* und *n* aufgesetzt.

Der kupferne Leitungsdraht von 100 bis 150 Fuß Länge und $1/3$ bis $1/2$ Millimeter Dicke ist mit Seide oder Wolle übersponnen und wird des bequemeren Gebrauchs wegen auf eine hölzerne Spule *D* aufgewickelt, an welcher sein inneres Ende befestigt und mit einer Klemmschraube *r* versehen ist. An dem anderen Ende des Drahtes ist dann gleichfalls eine Klemmschraube *s* angelöthet.

Um den Versuch anzustellen, werden die besprochenen Apparate, wie unsere Figur zeigt, auf einen Tisch zusammengestellt, welcher in der Nähe der Stelle steht, wo der Blitzableiter in den Boden eintritt. Das Galvanometer wird so gerichtet, daß die Arme *ab* und *bc* der Kupferleitung in der Ebene des magnetischen Meridians liegen, daß also die Magnetnadel mit der Längsrichtung dieser Streifen parallel ist und also weder zur Linken noch zur Rechten hervorschaut. Ist das Galvanometer so aufgestellt, so wird bei *a* ein kupferner Leitungsdraht eingeschraubt, welcher, 8 bis 10 Fuß lang, zum unteren Ende des Blitzableiters geführt und da mehrere Male um die eiserne Stange desselben einige Fuß über dem Boden herumgewunden wird.

Damit zwischen den Leitungsstangen des Blitzableiters und dem darum gewundenen Kupferdraht metallische Berührung bestehe, muß man die eiserne Stange zuvor etwas anfeilen.

Nun ist der längere, auf die Holzspule aufgewundene Kupferdraht in ähnlicher Weise an der Saugstange des Blitzableiters zu befestigen. Zu diesem Zwecke steigt der Dachdecker hinauf, feilt die Stange etwas an und windet um die angefeilte Stelle einen 2 bis 3 Fuß langen Kupferdraht mehrmals herum; alsdann wirft er eine Schnur herab, welche an dem freien Ende *s* des auf der Spule aufgewundenen Kupferdrahtes angebunden wird und vermittelst deren er dieses Drahtende in die Höhe zieht, während sich unten der Draht von der Spule abwickelt. Ist die Schraubklemme *s* oben angekommen, so befestigt der Dachdecker in derselben das freie Ende des Drahtes, welchen er um die Saugstange herumgewunden hat, während man unten die Spule mit

dem Rest des Drahtes auf den Tisch stellt. Ist dies geschehen, so wird ein kurzer Leitungsdraht einerseits in die Klemmschraube *r* der Spule und andererseits in die Klemmschraube *p* eingeschraubt, welche den einen Pol der Wollaston'schen Säule bildet. Um die Kette zu schließen, hat man jetzt nur noch nöthig, zwischen den Klemmschrauben *n* der Säule und *c* des Galvanometers einen kurzen Draht einzuschalten. Sobald dies geschehen ist, circulirt der Strom; er geht von dem einen Pol der Säule durch den langen Leitungsdraht hinauf zur Saugstange, von dieser durch die Leitung des Blitzableiters herab und von dem unteren Ende dieser Leitung durch das Galvanometer zum anderen Pol der Säule zurück.

Ist die Leitung ununterbrochen, so daß der Strom wirklich in der angegebenen Weise circuliren kann, so wird augenblicklich die Magnetnadel abgelenkt und aus der Ebene des Kupferbügels *abc* hervortreten; ist jedoch die Leitung unterbrochen, so bleibt die Magnetnadel unbeweglich.

Zeigt sich auf diese Weise eine Unterbrechung der Leitung, so wird der längere Leitungsdraht nach und nach an verschiedenen Stellen der Blitzableiterleitung befestigt, um so die Strecke ausfindig zu machen, auf welcher sich die Unterbrechung befindet.

Elektricität der Gewitterwolken. Wenn man die Elektricität untersucht, welche sich während eines Gewitters in dem ersten Conductor *h* des Apparates Fig. 229 oder eines ähnlichen ansammelt und zum Funkenzieher überspringt, so findet man, daß es bald positive, bald negative Elektricität ist, daß also die Gewitterwolken bald mit positiver, bald mit negativer Elektricität geladen sind. Crosse beschreibt die Beobachtungen und Versuche, welche er an seinem Apparate während des Verlaufs von Gewittern angestellt hat, ungefähr in folgender Weise: 184

Wenn sich eine Gewitterwolke den Saugspitzen des Sammelapparates nähert, so divergiren die am ersten Conductor aufgehängten Hollundermarkspendel entweder mit positiver oder mit negativer Elektricität; und wenn die Gränze der Wolke vertical über den Saugspitzen angelangt ist, so schlagen langsam Funken zwischen dem ersten Conductor und dem Funkenzieher über. Nach einiger Zeit, während welcher etwa 9 bis 10 Funken in der Minute überschlagen, folgt eine kurze Pause, auf welche dann das Ueberschlagen der Funken von Neuem beginnt, aber nun mit entgegengesetzter Elektricität, so daß, wenn Anfangs negative Elektricität aus dem ersten Conductor hervorbrach, nun eine Reihe positiver Entladungen folgt, was anzeigt, daß zwei entgegengesetzte elektrische Zonen der Wolke über den Beobachtungsort hinweggezogen sind. Auf das erste folgt ein zweites Zonenpaar, welches schon ein häufigeres Ueberschlagen von Funken bewirkt als das erste. So dauert dann der Wechsel der Elektricitäten eine Zeitlang fort, indem jeder Uebergang in die entgegengesetzte Elektricität durch eine kurze Pause markirt wird; aber immer rascher schlagen die Funken über, bis sie endlich einen regelmäßigen Feuerstrom bilden, wenn die Mitte der Gewitterwolke im Zenith steht und das Gewitter in seiner vollen Heftigkeit wüthet. Crosse verband während eines Gewitters mit dem ersten Conductor seiner Vorrichtung eine elektrische

Batterie von 75 Quadratfuß innerer Belegung. Bei voller Ladung konnte mit dieser Batterie ein 30 Fuß langer Eisendraht von $\frac{1}{270}$ Zoll Durchmesser geschmolzen werden. Um die Batterie zu schonen, näherte Crosse eine mit der äußeren Belegung in Verbindung stehende Messingkugel der Kugel der inneren Belegung so weit, daß eine Selbstentladung erfolgte, wenn die Batterie ungefähr $\frac{3}{4}$ ihrer vollen Ladung enthielt. Unter diesen Umständen fand ein fast continuirlicher Strom von Entladungen Statt, wenn gerade die Mitte der Gewitterwolke über dem Beobachtungslocale hinzog.

Der Wechsel der Elektricitäten dauert fort, während die zweite Hälfte der Wolke vorüberzieht; allmälig aber nimmt die Intensität ab, wie sie vorher zugenommen hatte.

Eine Gewitterwolke ist also nicht ihrer ganzen Ausdehnung nach mit derselben Elektricität geladen, sondern sie besteht aus Zonen, welche abwechselnd mit entgegengesetzten Elektricitäten geladen sind, und zwar ist diese Ladung für die Mitte der Wolke am stärksten und nimmt dann nach den Gränzen hin ab.

185 **Aeußerer Charakter der Gewitterwolken.** Der Bildung der Gewitter geht meist eine ungewöhnliche Schwüle voran. In der mit Wasserdämpfen gesättigten Atmosphäre beginnen sich einzelne Wolken zu bilden, welche rasch an Umfang und Dichtigkeit zunehmen und deren äußeres Ansehen sie schon als Gewitterwolken verkündigt. Von der Ferne gesehen, erscheinen sie als dunkle, schwarzgraue Wolkenmassen, welche, auf dem Horizonte aufliegend, an ihrer oberen Gränze in eine Masse aufgethürmter Haufwolken übergehen, welche, noch von der Sonne beschienen, durch ihre blendende Weiße nur um so mehr gegen die Dunkelheit der tieferen Wolkenschichten contrastiren. In diesen aufgethürmten Wolkenmassen bemerkt man gewissermaßen ein gewaltiges Aufschwellen, eine rasche Formveränderung der kugeligen Wolkengipfel, während die ganze Wolkenmasse doch nur langsam vorrückt.

Allmälig nähert sich die Gewitterwolke mehr dem Zenith, und wir sehen nur noch die untere Seite derselben, welche vielfach zerrissen erscheint. Die herabhängenden Wolkenfetzen sind in fortwährender unregelmäßiger Bewegung und zeigen oft eine eigenthümliche blaugraue Färbung, welche man als Vorboten von Hagel betrachtet. Eben so sieht man unter der großen Gewitterwolke oft einzelne isolirte Wölkchen in unregelmäßiger Bewegung nach verschiedenen Richtungen hinziehen.

Was die Höhe der Gewitterwolken über der Erdoberfläche betrifft, so ist diese in gebirgigen Gegenden am leichtesten zu bestimmen, da höhere Berge häufig in die Region der Gewitterwolken hinein-, ja über dieselbe hinausragen, so daß man sich auf dem Gipfel der Berge im vollen Sonnenschein befindet und den reinen blauen Himmel über sich hat, während Gewitterwolken mit Blitz und Donner die Thäler bedecken. In der Ebene läßt sich die Höhe der Gewitterwolken ermitteln, wenn man die Winkelhöhe der Stelle mißt, an welcher ein Blitz erscheint, und dann die Zeit beobachtet, welche zwischen der Wahrnehmung des Blitzes und des Donners verstreicht.

Aus solchen Beobachtungen hat man ermittelt, daß sich die Gewitterwolken oft bis zu einer Höhe von 700 bis 1000 Fuß herabsenken, während die mittlere Höhe derselben 3000 bis 4000 Fuß zu sein scheint. Aber auch in sehr großen Höhen finden Gewitter Statt, denn es fehlt uns nicht an Berichten, daß Reisende auf den Gipfeln der höchsten Berge noch Gewitter über sich beobachtet haben; so Saussure auf dem Côl du Géant in einer Höhe von 10,500 und Bouguer auf dem Pichincha in einer Höhe von 14,600 Fuß.

Der Blitz und das Wetterleuchten. Die Blitze sind elektrische 186
Entladungen, welche zwischen entgegengesetzt elektrischen Wolken und Wolkenzonen oder auch zwischen einer elektrischen Wolke und einem Punkte der Erdoberfläche stattfinden, in welchem durch Vertheilung die entgegengesetzte Elektricität angehäuft ist.

Die Blitze erscheinen uns in sehr verschiedenen Gestalten, unter denen besonders zwei Formen als die gewöhnlichsten hervorzuheben sind; entweder erscheint nämlich der Blitz als ein gleichförmiger Lichtschimmer, welcher plötzlich die Wolken durchzuckt, große Flächen derselben erleuchtet und ihre Umrisse für einen Moment sichtbar macht, oder er durchfurcht in Form einer scharf begränzten blendend hellen Zickzacklinie den Himmel.

Die erstere dieser beiden Formen ist die häufigste. Die Zickzackblitze schlagen entweder von einer Wolkengruppe zur anderen über oder häufig in nahezu verticaler Richtung von der Wolke zur Erde, in welchem Falle man sagt, daß es eingeschlagen habe.

Die Blitze sind oft Meilen lang, wie man am besten übersehen kann, wenn man auf einem hohen Berge unter sich ein Gewitter in der Tiefe zu beobachten Gelegenheit hat. In solchen Fällen sieht man auch, daß häufig Blitze aus den Gewitterwolken nach oben schlagen. Im Jahre 1700 tödtete ein von unten kommender Blitzschlag in Steyermark sieben Personen, welche sich in einer auf einem hohen Berge gelegenen Capelle befanden. Während in der Tiefe das Gewitter tobte, schien oben die Sonne hell am blauen Himmel und Niemand ahnete eine Gefahr.

Das Wetterleuchten, welches man des Abends oder während der Nacht selbst bei ganz heiterem Himmel sieht, ohne daß man irgend ein Donnern hört, ist wohl nur der Widerschein sehr entfernter Blitze. In der Nacht vom 10. auf den 11. Juli 1783 bemerkte Saussure auf der Grimsel in der Richtung gegen Genf am Horizonte einige Wolkenstreifen, in welchen er Wetterleuchten wahrnahm, ohne daß man das mindeste Geräusch hören konnte. In derselben Nacht, zu derselben Stunde wurde Genf von einem furchtbaren Gewitter heimgesucht.

Am Abend des 31. Juli 1813 beobachtete Howard zu Tettenham in der Nähe von London bei vollkommen wolkenfreiem Himmel starkes Wetterleuchten gegen Südosten hin und erfuhr später, daß zu derselben Zeit ein heftiges Gewitter zwischen Dünkirchen und Calais, also in einer Entfernung von ungefähr 25 Meilen, stattgefunden hatte.

Daß der Widerschein eines Blitzes auf solche Entfernungen hin wahrnehmbar sein kann, geht daraus hervor, daß, als Zach im Jahre 1803 auf dem Brocken zum Zweck von Längenbestimmungen Blitzfeuer von 7 Unzen Pulver anzündete, man den Widerschein bis auf eine Entfernung von nahe 40 Meilen, also an Orten wahrnehmen konnte, von welchen aus wegen der Krümmung der Erde der Gipfel des Brockens selbst gar nicht mehr sichtbar sein konnte.

187 **Der Donner** entsteht ohne Zweifel durch die Vibrationen der beim Ueberschlagen des Blitzes gewaltsam erschütterten Luft. Blitz und Donner entstehen gleichzeitig, und wenn man den Donner später hört, als man den Blitz sieht, so liegt dies nur darin, daß sich der Schall ungleich langsamer fortpflanzt als das Licht.

Aus dem Zeitintervall, welches zwischen der Wahrnehmung des Blitzes und des Donners vergeht, kann man auf die Entfernung des Blitzes vom Beobachtungsorte schließen.

Der Blitz ist, in runder Zahl ausgedrückt, so vielmal 1000 Fuß vom Beobachter entfernt, als Secunden zwischen der Wahrnehmung des Donners und des Blitzes verstreichen.

Der Donner ist nicht auf weithin hörbar; das größte Zeitintervall, welches man bis jetzt zwischen Blitz und Donner beobachtet hat, beträgt 72 Secunden, was auf eine Entfernung von nicht ganz 4 geographischen Meilen schließen läßt. Daß der Donner schon in so geringer Entfernung aufhört, wahrnehmbar zu sein, ist um so auffallender, da man Kanonenschüsse viel weiter hört. Bei der Belagerung von Genua durch die Franzosen hörte man den Kanonendonner zu Livorno, in einer Entfernung von 20 Meilen.

Man sieht das Licht gleichzeitig auf der ganzen Bahn des Blitzes, und auf der ganzen Strecke entsteht auch gleichzeitig der Knall; da sich aber der Schall langsamer verbreitet, als das Licht, da er in einer Secunde nur 340 Meter zurücklegt, so sieht man den Blitz eher, als man den Donner hört; ein Beobachter, welcher sich nahe an dem einen Ende der Bahn des Blitzes befindet, wird den in allen Punkten gleichzeitig entstehenden Ton nicht gleichzeitig hören. Nehmen wir an, der Blitz sei 3400 Meter lang und der Beobachter befinde sich in der Verlängerung seiner Bahn, so wird der Schall von dem entfernteren Ende des Blitzes 10 Secunden später ankommen, als von dem zunächst gelegenen Ende. Da demnach der Schall von den verschiedenen Stellen des Blitzes nur nach und nach zum Ohre des Beobachters gelangt, so hört er also nicht einen momentanen Knall, sondern ein, je nach der Länge des Blitzes und seiner Stellung gegen die Bahn desselben, länger oder kürzer dauerndes Rollen des Donners, welches wohl noch durch ein Echo in den Wolken verstärkt wird.

188 **Wirkungen des Blitzschlages.** Denken wir uns, daß eine etwa positive Gewitterwolke über dem Meere oder über einem See schwebe, so wird sie vertheilend wirken, die positive Elektricität im Wasser wird zurückgestoßen, die negative aber an der Oberfläche des Wassers angehäuft; diese Anhäufung kann so bedeutend sein, daß sie eine merkliche Erhebung des Wassers bewirkt; es wird sich eine große Woge, ein Wasserberg bilden können, welcher so lange

bleibt, als dieser elektrische Zustand dauert, der auf dreierlei Weise endigen kann. 1) Wenn sich die Elektricität der Wolke allmälig verliert, ohne daß ein Entladungsschlag erfolgt, so wird sich auch der natürlich-elektrische Zustand des Wassers allmälig wieder herstellen. 2) Wenn der Blitz zwischen einer Gewitterwolke und einer anderen, oder zwischen der Wolke und einem entfernteren Orte der Erde überschlägt, wenn also die Wolke plötzlich entladen wird, so muß die an der Oberfläche des Wasserberges angehäufte Elektricität auch rasch wieder ab-, die bisher abgestoßene rasch wieder zuströmen, es findet eine plötzliche Ausgleichung, ein Rückschlag Statt. 3) Wenn die Gewitterwolke sich nahe genug befindet und wenn sie stark genug mit Elektricität geladen ist, so schlägt der Blitz über. Dieser directe Schlag bringt in der Regel eine bedeutendere Bewegung, ein stärkeres Aufwallen des Wassers hervor als der Rückschlag. Ein solcher Schlag findet nicht ohne mächtige mechanische Wirkung Statt.

Betrachten wir nun die Wirkungen der Gewitterwolken auf dem Lande.

Eine allmälige Zerlegung und Wiedervereinigung der Elektricität bringt keine sichtbaren Wirkungen hervor; es scheint jedoch, daß solche Störungen des elektrischen Gleichgewichts durch organische Wesen, und namentlich durch nervenkranke Personen, empfunden werden können.

Der Rückschlag ist stets weniger heftig als der directe; es giebt kein Beispiel, daß er eine Entzündung veranlaßt habe, dagegen fehlt es nicht an Beispielen, daß Menschen und Thiere durch den Rückschlag getödtet worden sind; man findet an ihnen in diesem Falle durchaus keine gebrochenen Glieder, keine Wunden und keine Brandspuren.

Die furchtbarsten Wirkungen bringt der directe Schlag hervor. Wenn der Blitz einschlägt, so bezeichnet er die Stelle, wo er den Boden trifft, durch ein oder mehrere, bald mehr, bald minder tiefe Löcher.

Alles, was sich über die Ebene erhebt, ist vorzugsweise dem Blitzschlage ausgesetzt; daher kommt es, daß so oft Thiere mitten in der Ebene erschlagen werden; unter sonst gleichen Umständen ist man jedoch auf einem nichtleitenden Boden sicherer, als auf einem gutleitenden.

Bäume sind schon durch Säfte, welche in ihnen circuliren, gute Leiter; wenn eine Gewitterwolke über ihnen hinzieht, so findet in den Bäumen eine starke Anhäufung von Elektricität Statt, und deshalb sagt man mit Recht, daß Bäume den Blitz anziehen; man darf daher während eines Gewitters unter Bäumen, namentlich unter einsam stehenden Bäumen, ja selbst unter einsam in der Ebene stehenden Sträuchen keinen Schutz suchen.

Gebäude sind in der Regel aus Metall, Steinen und Holz zusammengesetzt. Wegen der ungleichen Leitungsfähigkeit dieser Substanzen ist auch die Wirkung der Gewitterwolken auf dieselben sehr verschieden. Wenn der Blitz einschlägt, so trifft er vorzugsweise die besseren Leiter, mögen sie nun frei oder durch schlechtere Leiter eingehüllt sein; die vertheilende Kraft der atmosphärischen Elektricität wirkt auf den in die Wand eingeschlagenen Nagel eben so gut, wie auf die frei in die Luft ragende Windfahne.

Die mechanischen Wirkungen des Blitzes sind in der Regel sehr hef-

tig. Wenn der Blitz in ein Zimmer einschlägt, so werden die Möbel umgestürzt und zertrümmert, Metallstücke werden herausgerissen und fortgeschleudert. Bäume werden vom Blitz gespalten und zersplittert, gewöhnlich aber kann man vom Gipfel bis zum Boden eine mehrere Centimeter breite und tiefe Furche verfolgen, die abgeschälte Rinde und die ausgerissenen Späne findet man weit weggeschleudert, und am Fuße des Baumes sieht man oft ein Loch, durch welches das elektrische Fluidum sich in den Boden verbreitete.

Die physikalischen Wirkungen des Blitzes beweisen eine mehr oder minder bedeutende Temperaturerhöhung. Wenn der Blitz ein Strohdach, trockenes Holz, ja grüne Bäume trifft, so findet eine Verkohlung, meistens sogar eine Entzündung Statt; bei Bäumen findet man jedoch seltener Spuren von Verkohlung. Metalle werden durch den Blitz stark erhitzt, geschmolzen oder verflüchtigt. Wiederholte Blitzschläge bringen auf hohen Bergen sichtbare Spuren von Schmelzung hervor; Saussure bemerkte sie auf dem Gipfel des Montblanc in Hornblendeschiefer, Ramond auf dem Gipfel des Montperdu in Glimmerschiefer und auf dem Puy de Dome in Porphyr; endlich sahen Humboldt und Bonpland auf dem Gipfel des Vulcans von Toluca auf einer Ausdehnung von mehr als zwei Quadratfuß hin die Oberfläche der Felsen verglast; an einigen Stellen fanden sie sogar Löcher, welche innen mit einer glasigen Kruste überzogen waren.

Ein interessantes Beispiel von Schmelzung durch den Blitz erzählt uns Withering (Phil. Transact. 1790). Am 3. September 1789 schlug der Blitz in eine Eiche im Park des Grafen von Aylesford ein und tödtete einen Menschen, welcher unter diesem Baume Schutz gesucht hatte. Der Stock, welchen der Unglückliche trug, scheint besonders den Blitz geleitet zu haben, weil sich da, wo der Stock auf den Boden aufgestützt war, ein Loch von 5 Zoll Tiefe und $2^1/_2$ Zoll Durchmesser fand. Das Loch wurde alsbald von Withering untersucht, und es fanden sich in demselben nur einige verbrannte Wurzelfasern. Der Lord Aylesford wollte nun an dieser Stelle eine Pyramide mit einer Inschrift errichten lassen, welche davor warnen sollte, bei Gewittern unter Bäumen Schutz zu suchen. Beim Graben des Fundaments fand man den Boden in der Richtung des Loches bis zu einer Tiefe von 10 Zoll geschwärzt, und 2 Zoll tiefer fand man in dem quarzigen Boden deutliche Spuren von Schmelzung. Unter Anderem fand sich ein Quarzstück, dessen Kanten und Ecken vollkommen geschmolzen waren, und eine durch die Hitze zusammengebackene Sandmasse, in welcher sich eine Höhlung befand, in der die Schmelzung so vollkommen war, daß die geschmolzene Quarzmasse an den Seiten der Höhlung herunter geflossen war.

Endlich müssen hier noch die sogenannten Blitzröhren erwähnt werden, welche man in den sandigen Ebenen von Schlesien, von Ostpreußen, von Cumberland und in Brasilien, nahe bei Bahia, findet. Diese Röhren sind oft 8 bis 10 Meter lang, ihr äußerer Durchmesser beträgt gewöhnlich 5 Centimeter, ihr innerer einige Millimeter; die innere Fläche ist vollkommen verglast, die äußere ist rauh; sie sieht aus wie eine mit zusammengebackenen Sandkörnern bedeckte Kruste; man findet sie bald in verticaler, bald in schräger Richtung im Sande;

am unteren Ende verzweigen sie sich gewöhnlich und werden nach und nach spitzer. Fiedler, welcher über diesen Gegenstand viele interessante Beobachtungen gemacht hat (Gilbert's Annal. Bd. LV. und LXI.), bemerkt, daß sich in einer gewissen Tiefe unter der Oberfläche der Sandebenen Wassermulden befinden, und er betrachtet die Blitzröhren dadurch entstanden, daß der Blitz durch den Sand nach dem Wasser durchschlägt.

Am 9. Juli 1849 entlud sich über Basel ein heftiges Gewitter, welches dreimal einschlug. Einer dieser Blitzschläge folgte dem Blitzableiter eines Hauses bis in den Boden, sprang aber von da auf eine 3 Fuß vom unteren Ende der metallischen Leitung vorübergehende eiserne Wasserleitung über. Die einzelnen Röhrenstücke dieser Wasserleitung waren mit Pech in einander gefügt, und gerade an diesen Stellen, wo also die metallische Leitung unterbrochen war, wurden viele Röhrenstücke bis auf eine Entfernung von mehr als $1/_6$ Meile durch das Ueberspringen des elektrischen Fluidum zersprengt. Gleich nach jenem Blitzschlage hörten deshalb auch alle Brunnen des entsprechenden Stadtviertels auf zu fließen.

Daß der Blitzschlag Menschen und Thiere tödten kann, ist bekannt; als Beispiele führe ich hier einige der Fälle an, welche Arago in seiner ausgezeichneten Abhandlung „sur le tonnère" Seite 475 zusammengestellt hat. (Annuaire du bureau de longitudes pour 1838.)

In der Nacht vom 26. auf den 27. Juli 1759 schlug der Blitz in das Theater der Stadt Feltre ein, tödtete viele Zuschauer und verwundete fast alle übrigen.

Im Jahre 1808 schlug der Blitz in ein Wirthshaus des Fleckens Kappel im Breisgau und tödtete 4 Personen.

Am 20. März 1784 schlug der Blitz in den Saal des Theaters zu Mantua, wo 400 Personen versammelt waren; er tödtete 2 derselben und verwundete 10.

Am 11. Juli 1819 schlug der Blitz während des Gottesdienstes in die Kirche von Chateauneuf-les-Moustiers im Arrondissement von Digne (Departement der Niederalpen) ein, tödtete 9 Personen und verletzte deren 24 mehr oder weniger.

Am 10. Juli 1855 entlud sich Morgens zwischen 7 und 9 Uhr über der ganzen badischen Rheinebene und einem Theile des Schwarzwaldes ein Gewitter, welches an weit auseinander liegenden Orten mehrere Menschen tödtete. Zu Thunsel, oberhalb Freiburg, erschlug nämlich der Blitz einen aus dem Felde heimkehrenden Ackerknecht sammt seinen beiden Pferden. Im Amte Durlach suchten vier Personen unter einem 40 Fuß hohen Birnbaum Schutz gegen den Regen; ein Blitzschlag, welcher den Baum traf, tödtete zwei derselben, während die beiden anderen gelähmt wurden. In der Nähe von Bruchsal endlich schlug während desselben Gewitters der Blitz in eine Torfhütte, in welche sich viele Arbeiter geflüchtet hatten, verletzte mehrere und tödtete zwei derselben.

Im Ganzen ist aber doch die Summe der durch den Blitz erschlagenen Per-

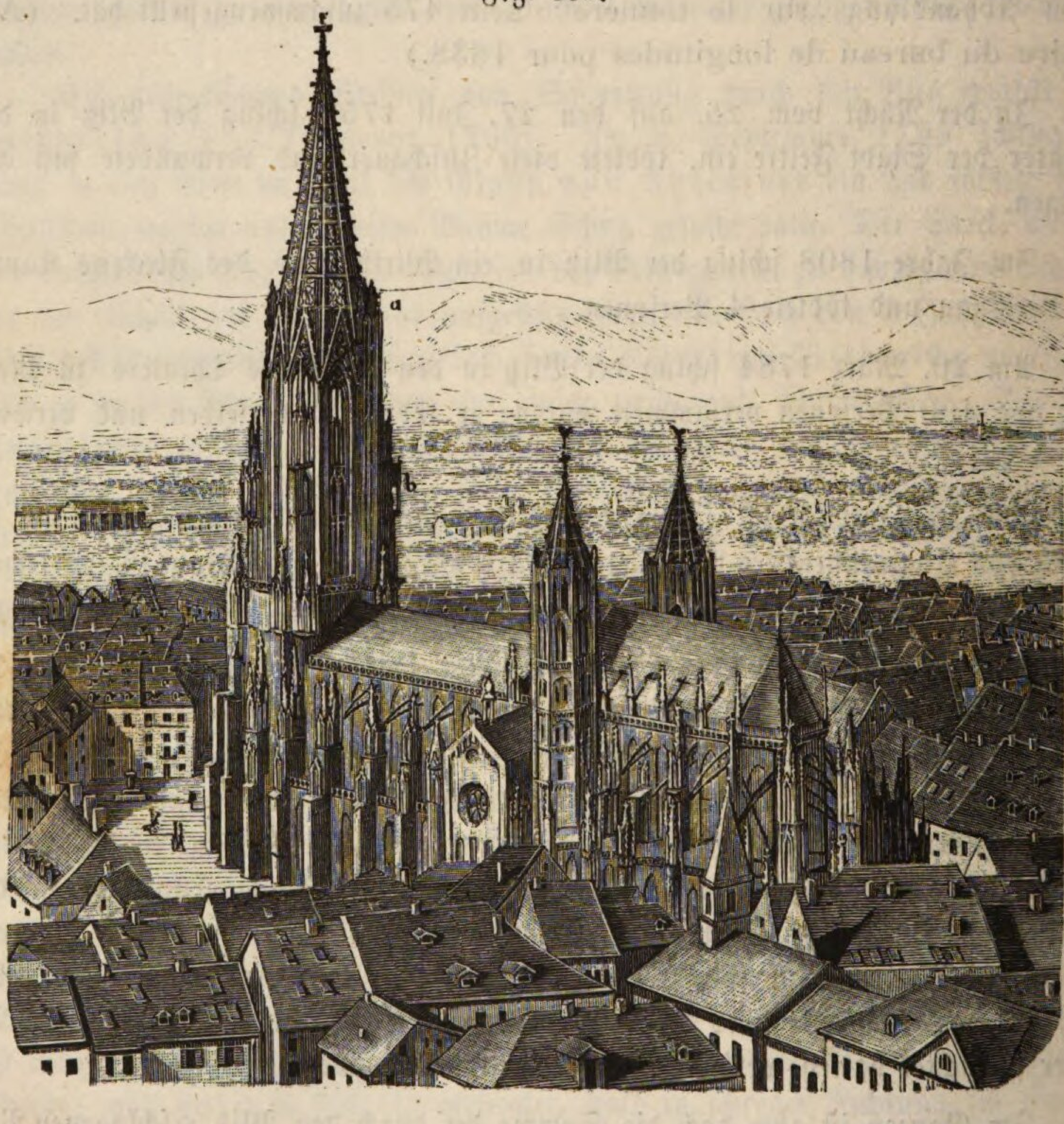
sonen so gering, daß man solche Fälle immerhin zu den Seltenheiten zählen kann, obgleich das Einschlagen des Blitzes in Gebäude ziemlich häufig vorkommt. So schlug in der einzigen Nacht vom 14. auf den 15. April 1718 der Blitz längs der Küste der Bretagne in 24 Kirchthürme und am 11. Januar 1815 traf der Blitz in den Niederlanden 12 Thürme.

Ausgezeichnete und hohe Gebäude werden sehr häufig durch den Blitz heimgesucht.

Im Jahre 1417 schlug der Blitz in den Glockenthurm von St. Marcus in Venedig und zündete das Gebälk an, welches vollständig verbrannte; das wiederhergestellte Dach wurde im Jahre 1489 durch einen Blitzschlag abermals in Asche gelegt. Die später von Stein erbaute Pyramide wurde am 23. April 1745 durch einen heftigen Blitzschlag so verwüstet, daß die Reparaturen 8000 Ducaten kosteten.

Im Juli 1759 entzündete der Blitz das Dach des Straßburger Münsters, und im October des folgenden Jahres traf ein Blitzstrahl den Thurm desselben

Fig. 232.



und zerschmetterte die Pfeiler, welche die sogenannte Laterne tragen, dermaßen, daß die Reparatur über 100,000 Franken kostete.

Auch der Thurm des Freiburger Münsters ist öfters vom Blitz getroffen worden; so richtete z. B. ein Blitzschlag, welcher am 28. April 1561 die herrliche Pyramide, Fig. 232, traf, so bedeutenden Schaden an, daß man zur Wiederherstellung derselben Werkmeister von Straßburg, Colmar und Ettlingen kommen ließ und die benachbarten Stifter beisteuerten, um die Kosten dieser Reparatur zu decken.

Am 2. Januar 1819 traf ein Blitzstrahl den Münsterthurm und ging, nachdem er die in der Höhe von *b*, Fig. 232, hängenden Glocken erreicht hatte, ohne merklichen Schaden zu thun, auf der Nordseite des Thurms an dem Draht herab, welcher zu der in der gerade unter den Glocken befindlichen Wohnung des Thurmwächters angebrachten Signalschelle führt. Ein Knabe, welcher gerade unter dem Handgriff dieses Drahtes sich befand, wurde getödtet.

Am 10. Januar 1843 zwischen 3 und 4 Uhr Nachmittags nahm ein Blitzschlag wieder fast denselben Weg, wie im Jahr 1819. Von der Pyramide, an welcher nur einige Steine beschädigt wurden, trat er in die Schneckenstiege *a b*, Fig. 232, welche das nordöstliche Eck des Thurmes bildet; die eisernen Klammern, welche hier zur besseren Verbindung der einzelnen Steine mittelst Blei eingelassen sind, bestimmten den Weg; von einer solchen Klammer zur nächsten überspringend, wurde ein Theil des zur Befestigung dienenden Bleies geschmolzen, mit fortgerissen und auf dem Zwischenraum zwischen den beiden Klammern wurde auf der Oberfläche des Sandsteines ein Bleiglas erzeugt, welches in Form kleiner Glaskügelchen einen fingerbreiten weißen Streifen bildete. Durch allmälige Verwitterung des Bleiglases ist dieser Streifen jetzt wieder verschwunden. Aus der Schneckenstiege nahm der Blitz abermals seinen Weg über die Glocken zu dem schon erwähnten ungefähr 1‴ dicken eisernen Schellendraht, welcher diesmal theilweise geschmolzen und zerrissen wurde.

Im Jahre 1844 stellte Frick den Blitzableiter am Thurme her, und zwar auf folgende ebenso einfache als zweckmäßige Weise: Von dem metallenen Stern, welcher als Wetterfahne dienend ohnehin schon die Spitze bildet, wurde ein aus 6 ungefähr 2^{mm} dicken Kupferdrähten bestehendes Drahtseil bis in den Boden herabgeführt und mit diesem durch 5^{mm} dicke Kupferdrähte alle bedeutenderen Metallmassen, wie die Glocken, die Eisenstangen, welche die Pyramiden halten, u. s. w., in Verbindung gebracht.

Diese Vorrichtung hat sich trefflich bewährt, indem ein Blitzstrahl, welcher am 28. April 1847 den Thurm traf, an dem erwähnten Drahte bis zum Boden herabfuhr, ohne daß er auch nur die mindeste Verletzung hervorgebracht hätte.

Am 18. August 1769 schlug der Blitz in einen Pulverthurm zu Brescia; 200,000 Pfund Pulver wurden entzündet und dadurch eine so furchtbare Explosion verursacht, daß $^1/_3$ der Häuser dieser großen und schönen Stadt umgestürzt und die übrigen bedeutend beschädigt wurden. 3000 Menschen verloren bei dieser Katastrophe das Leben.

Im Jahre 1785 wurde ein Pulvermagazin zu Tanger, im Jahre 1807

ein solches zu Luxemburg und im Jahre 1808 eines im Fort St. Andrea del Lido zu Venedig durch den Blitz entzündet und in die Luft gesprengt.

Am 5. November 1755 schlug der Blitz in ein Pulvermagazin in der Nähe von Rouen, spaltete einen Balken des Daches und zersplitterte zwei Pulverfässer, ohne das Pulver zu entzünden.

Auf Seite 417, 418 und 419, sowie auf Seite 485 bis 488 der erwähnten Abhandlung führt Arago eine Reihe von Fällen an, in welchen der Blitz in Schiffe eingeschlagen hat. Aus dem Allem ergiebt sich, wie nothwendig es ist, Schiffe sowohl wie Gebäude durch Blitzableiter zu schützen.

Die Blitzschläge sind zu keiner Zeit gefährlicher, als in den kälteren Jahreszeiten.

Arago fand diese allgemein verbreitete Ansicht bestätigt; als er bei seiner Lectüre alle Blitzschläge notirte, welche an bestimmt bezeichneten Tagen Schiffe getroffen hatten, und nachher die so zusammengetragenen Fälle nach Monaten ordnete. Er nahm in diesem Verzeichniß (Seite 417—419 der Abhandlung) nur solche Fälle auf, welche sich auf der nördlichen Hemisphäre außerhalb der Wendekreise ereigneten.

Die Zahl der mit genügendem Datum und mit bestimmter Ortsbezeichnung versehenen auf Schiffe gefallenen Blitzschläge, welche er auffinden konnte, war im

Januar	5,
Februar	4,
März	1,
April	5,
Mai	0,
Juni	0,
Juli	2,
August	1,
September	2,
October	2,
November	4,
December	4.

Bedenkt man nun, daß die Gewitter im Sommer weit häufiger sind als im Winter, so unterliegt es keinem Zweifel, daß die Wintergewitter, auf dem Meere wenigstens, weit gefährlicher sind als die Sommergewitter, was wohl damit zusammenhängen mag, daß die Gewitterwolken im Winter weit tiefer ziehen als im Sommer.

Auch die oben angeführten Blitzschläge, welche den Thurm des Freiburger Münsters trafen, fanden in den Monaten Januar und April Statt.

189 **Geographische Verbreitung der Gewitter.** Obgleich in dieser Beziehung das Beobachtungsmaterial noch sehr mangelhaft ist, so unterliegt es doch keinem Zweifel, daß die Gewitter in der heißen Zone im Allgemeinen nicht allein heftiger, sondern auch häufiger sind als in der gemäßigten, wie man dies auch aus folgender Tabelle ersieht, welche nach dem in Arago's Abhandlung zusammengetragenen Material zusammengestellt ist.

Beobachtungsort.	Durchschnittszahl der Gewitter in einem Jahr.	Zahl der Beobachtungsjahre.	Kleinste	Größte
			Zahl der Gewitter in einem Jahr.	
Calcutta	60	1		
Rio Janeiro . . .	50,7	6	38	77
Martinique . . .	39			
Abyssinien	38	1		
Guadeloupe . . .	37			
Buenos-Ayres . .	22,6	7		
Smyrna	19	1		
Berlin	18,4	15	11	30
Padua	17,5	4		
Straßburg	17	20	6	21
Mastricht	16,2	11	8	27
Tübingen	14	9		
Paris	13,8	51	6	25
Leiden	13,5	29	5	17
Athen	11	3	7	18
Petersburg	9,2	11		
London	8,5	13	5	13
Peking	5,8	6	3	14
Cairo	3,5	2	3	4

Zu Stockholm giebt es durchschnittlich 9, zu Bergen 6 Gewitter im Jahre.

Obgleich nun gerade innerhalb der Tropen und in der Nähe der Wendekreise im Allgemeinen die Gewitter häufiger sind, so findet man doch warme Länder, in welchen die Gewitter selten sind, wie Aegypten, oder wo sie ganz fehlen, wie in Unter-Peru. Die Bewohner von Lima kennen weder Donner noch Blitz.

Ueber die gemäßigte Zone hinaus werden die Gewitter immer seltener, je mehr man sich den Polen nähert. Auf seinen zahlreichen Reisen nach den Polarmeeren beobachtete Scoresby über dem 65° n. B. hinaus nur zweimal Donner und Blitz, und über dem 75° n. B. hinaus ist dieses Phänomen noch nie wahrgenommen worden.

Was die Vertheilung der Gewitter auf die verschiedenen Jahreszeiten betrifft, so finden sie in der heißen Zone vorzugsweise zu Anfang und zu Ende der Regenzeit Statt.

Im westlichen Europa fällt ungefähr die Hälfte aller Gewitter auf den

Sommer, $^1/_{10}$ auf den Winter. In Deutschland und der Schweiz sind die Gewitter im Sommer noch zahlreicher, die Wintergewitter aber seltener; noch weiter im Inneren von Europa giebt es gar keine Wintergewitter mehr. Auf der Westküste von Norwegen, in Bergen, wo im Laufe eines Jahres im Durchschnitt 6 Gewitter stattfinden, kommen dagegen 2 bis 3 auf den Winter und nur 1 bis 2 auf den Sommer. Auch an den Westküsten von Nordamerika und an den Ostküsten des Adriatischen Meeres sind die Wintergewitter vorherrschend.

190 **Beobachtung schwacher Luftelektricität.** Es ist in den vorigen Paragraphen nur von der Elektricität der Gewitterwolken und von den elektrischen Erscheinungen die Rede gewesen, welche man an dem Conductor der Sammelapparate während eines Gewitters beobachtet. Bringt man aber mit dem Sammelapparate hinlänglich empfindliche Elektrometer in Verbindung, so zeigen diese fast immer, selbst bei ganz heiterem Himmel, bald mehr bald weniger starke elektrische Ladungen.

Volta wandte zur Messung der atmosphärischen Elektricität das von ihm construirte Strohhalmelektrometer an, welches zwar weniger empfindlich als das Goldblattelektrometer, aber mit einem Gradbogen versehen mehr für Messungen geeignet ist.

Wird die Ladung eines solchen Elektrometers so stark, daß die Pendel über 30° divergiren, so strömt die Elektricität leicht aus; zur Messung stärkerer Elektricität ist deshalb ein zweites ähnlich construirtes Elektrometer nöthig, dessen Pendel statt aus Strohhalmen aus dünnen Holzstäbchen bestehen. Volta construirte ein solches, welches gerade 1° Divergenz gab, während bei gleicher Ladung sein Strohhalmelektrometer bis zu 5° divergirte. Eine Divergenz von 25° am Holzpendel-Elektrometer entsprach also 125 Graden des Strohhalmelektrometers.

Später wurden auch das Bohnenberger'sche Säulenelektroskop und die Coulomb'sche Drehwage zur Untersuchung der Luftelektricität angewendet, in neuerer Zeit dient aber zu diesem Zwecke vorzugsweise das Dellmann'sche Elektrometer und einige andere nach dem Princip der Drehwage construirte Apparate. In Betreff der näheren Beschreibung dieser Instrumente, ihrer Anwendung und Graduirung, muß ich auf die entsprechenden Aufsätze von Romershausen, Dellmann und Lamont verweisen, welche sich in Poggendorff's Annalen und zwar in den Bänden LXIX, Seite 71, LXXXVIII, Seite 571, LXXXVI, Seite 524, LXXXIX, Seite 258, LXXXV, Seite 494 und in Lamont's »Beschreibung der an der Münchener Sternwarte verwendeten neuen Instrumente und Apparate, München 1851,« Seite 53 finden.

Statt das Elektrometer unmittelbar mit der Saugvorrichtung in Verbindung zu bringen, verfuhr Volta öfters auch so, daß er eine kleine dünnglasige Leidner Flasche von 10 bis 12 Quadratzoll äußerer Belegung mit einer Saugvorrichtung in Verbindung brachte und dann die Ladung der kleinen Flasche an einem Elektrometer prüfte. Fig. 233 erläutert das ganze Verfahren, welches Volta anwandte, um das Fläschlein im Freien durch die

Luftelektricität zu laden. Der Beobachter hält dasselbe in der rechten Hand, in der Linken aber einen Spazierstock, auf welchen mittelst einer Hülse von Messingblech ein Glasstab aufgesetzt wird; auf diesen Glasstab wird dann wieder eine messingene Kappe aufgesetzt, in welche ein in eine Spitze auslaufender Stahldraht aufgeschraubt ist. Auf das obere Ende dieses stählernen Leiters bei *G* wird nun mit Hülfe von dünnem Eisendraht ein Schwefelfaden aufgebunden und ferner bei *E* ein dünner Metalldraht *H* befestigt, welcher unten mit einer Schleife endet. Das Messingstäbchen, welches durch den Hals der Flasche gehend zur inneren Belegung führt, ist oben statt mit einer Kugel mit einem Haken versehen, welcher in jene Schleife eingehängt wird.

Fig. 233.



Die Flamme des an seinem obersten Ende angezündeten Schwefelfadens wirkt ganz wie feine Spitzen, sie saugt die Luftelektricität gleichsam ein, welche dann durch den Draht *H* der kleinen Leidner Flasche zugeführt wird.

Mit der in Fig. 233 abgebildeten Saugvorrichtung läßt sich natürlich das Strohhalmelektrometer auch unmittelbar laden, wenn man dasselbe statt der Flasche in der rechten Hand haltend, in die Schleife des Drahtes *H* einhängt. Zu diesem Zwecke muß dann das isolirte Messingstäbchen, an welchem die Strohhalmpendel hängen, oben hakenförmig gebogen sein.

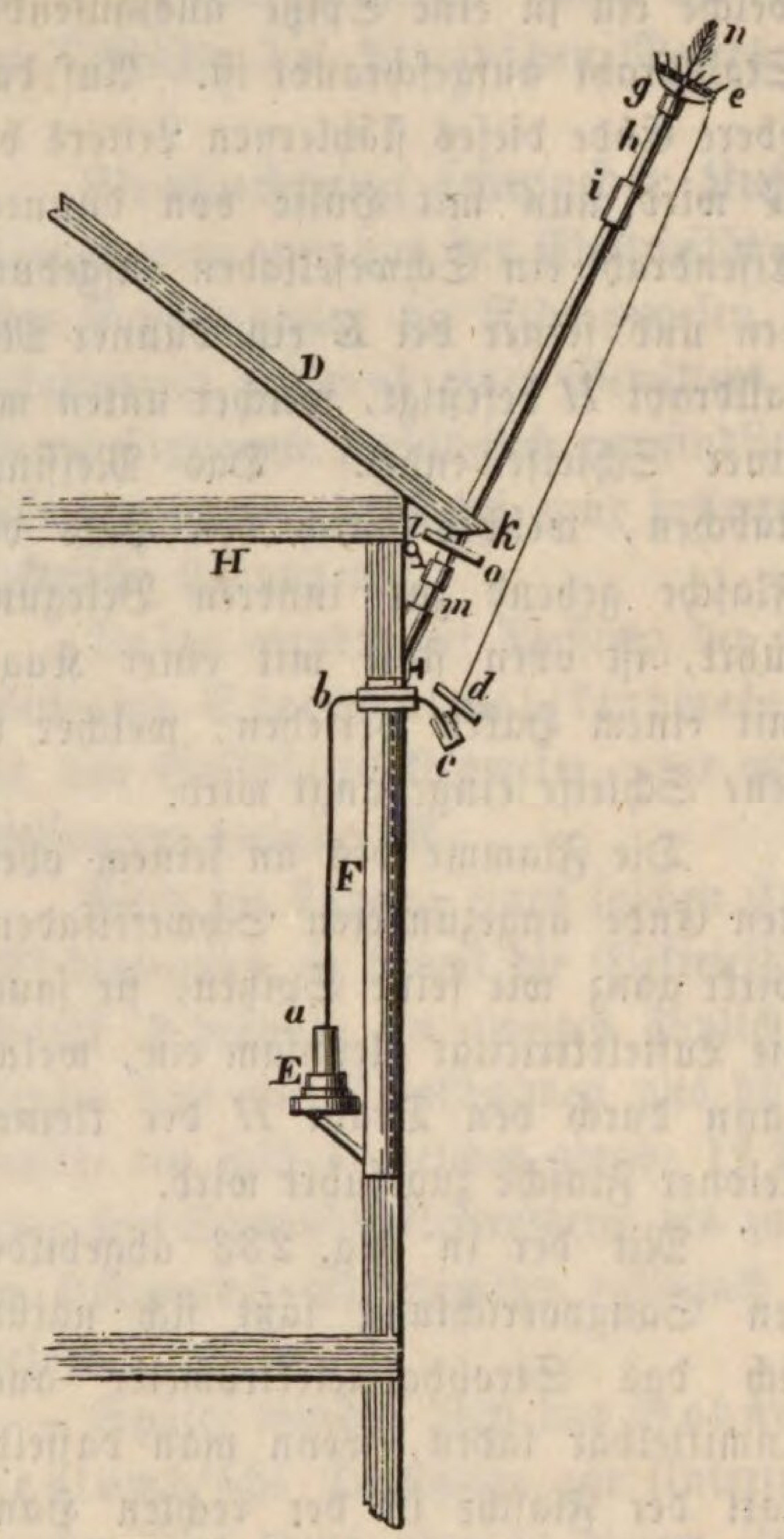
Um im Zimmer die Luftelektricität zu untersuchen, brauchte man nur den Stock der oben beschriebenen Vorrichtung mit seiner Stahlspitze und dem brennenden Schwefelfaden zum geöffneten Fenster hinaus zu halten und im Uebrigen zu verfahren, wie oben erwähnt wurde. Ein solches Verfahren ist aber mühsam.

Um diese Unbequemlichkeit zu vermeiden, steckte Volta durch das geöffnete Fenster eine etwa 12 Fuß lange hölzerne Stange hinaus, deren unteres Ende durch isolirende Träger gehalten wurde und an deren oberem Ende eine kleine Laterne von Blech befestigt war, in welcher eine kleine Kerze brannte. Von

dieser Laterne ist dann ein Metalldraht gehörig isolirt durchs Fenster herein geführt, mit dessen unterem Ende man dann das Elektrometer in Verbindung bringen kann.

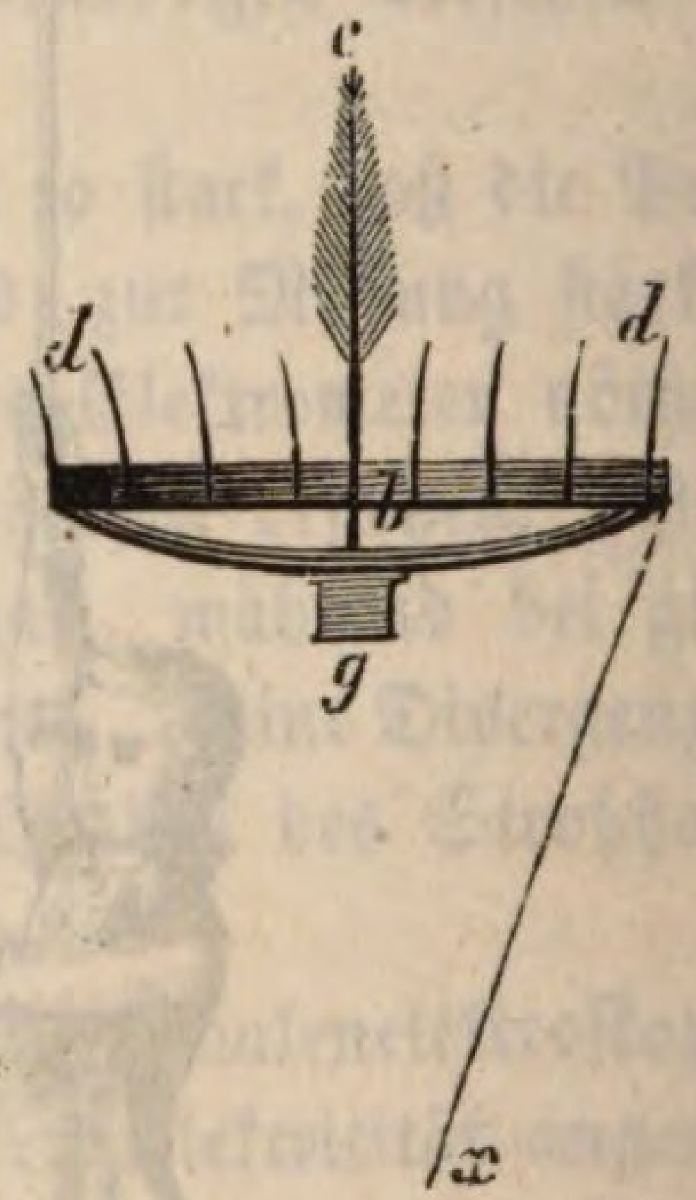
Fig. 234 zeigt eine von Romershausen construirte Vorrichtung zum Auffaugen der Luftelektricität. *D* ist das Dach des Hauses, *F* das Fenster des Beobachtungszimmers. Die ungefähr 10 bis 12 Fuß lange Stange von lackirtem Tannenholz steckt unten bei *m* in einem eisernen Schuh und trägt an ihrem oberen Ende eine Messinghülse *i*, in welche ein mit Schellack überzogener, $1^1/_2$ Fuß langer Glasstab eingekittet ist. Dieser trägt dann die Saugvorrichtung *gn*.

Fig. 234.



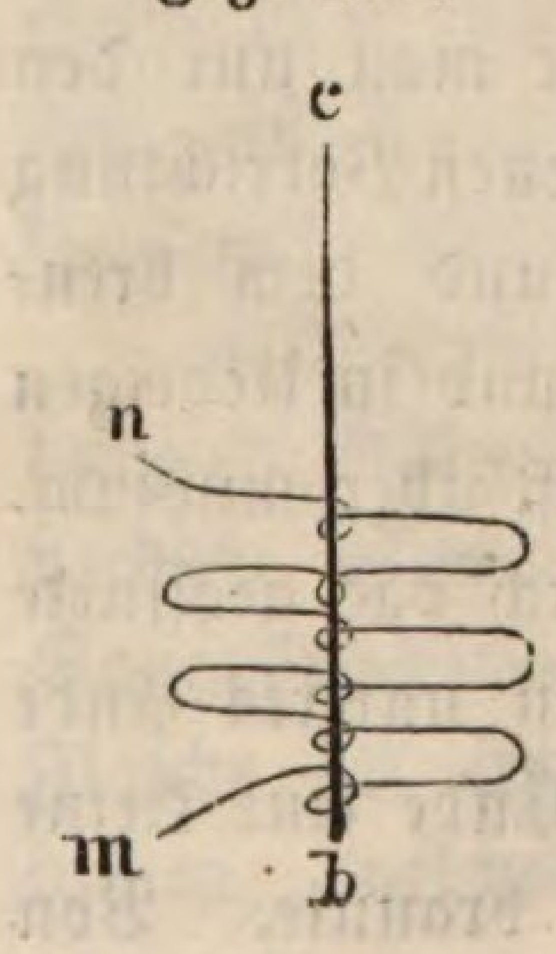
Zu mehrerer Deutlichkeit ist diese Saugvorrichtung in Fig. 235 in größerem Maßstabe dargestellt.

Fig. 235.



ae ist ein 5 Zoll im Durchmesser haltender flacher Kupferring, an welchen im Inneren die kupfernen, galvanisch vergoldeten und nach oben fein zugespitzten Auffangdrähte *dd* angelöthet sind. Ein im Durchmesser dieses Ringes angebrachter Kupferbügel trägt unterhalb die Hülse *g* zur Befestigung auf der Glasstange *h* und oberhalb ist eine höhere Drahtspitze *bc* eingelöthet.

Fig. 236.



Dieser oben fein zugespitzte und vergoldete, etwa 1‴ dicke Kupferdraht ist ringsum mit feinen haarförmigen Platinspitzen umgeben, und wird am leichtesten auf folgende Weise verfertigt: Die untere Hälfte des Drahtes wird mit Zinnloth überzogen und alsdann, wie Fig. 236 verdeutlicht, mit dem feinsten Platindraht umwunden und die Windungen über einer Spirituslampe angeschmolzen; die Schleifen werden alsdann aufgeschnitten und die Drahtspitzen zu einem Busch geordnet, wie es die vorige Figur zeigt.

b. Der kupferne Leitungsdraht *de*, Fig. 234, wird bei *e* an den Kupferring angelöthet; bei *d* erhält derselbe ein kleines Dach von Blech, welches den Regen abführt (ein gleiches ist bei *o* an der Stange angebracht). Bei *c* wird der von oben kommende Leitungsdraht mit dem in das Zimmer führenden am bequemsten mit einer Klemmschraube verbunden; bei *b* geht dieser letztere Draht durch eine Glasröhre, in welche er mit Schellack eingekittet ist, vermöge deren er gehörig isolirt durch ein Loch des Fensterrahmens in das Zimmer eintritt. Der Draht *ba* geht dann herab zu dem seitwärts vom Fenster aufgestellten und vor der unmittelbaren Einwirkung der Sonnenstrahlen geschützten Elektrometer *E*.

Nehmen wir nun an, daß die Luft über der Spitze des Saugapparates wirklich elektrisch sei, so wird ihre Elektricität vertheilend auf das ganze isolirte System wirken, dessen unteres Ende durch die Pendel des Elektrometers gebildet wird; die ungleichnamige Elektricität wird in die Spitze gezogen und strömt hier aus, die gleichnamige wird in die Pendel hinabgetrieben, das Elektrometer wird also mit derselben Elektricität geladen, welche in der Luft vorhanden ist.

Anders verhält es sich bei den neueren Beobachtungsmethoden, welche Lamont, Dellmann, Peltier und Quetelet anwenden. Diese Methode besteht im Wesentlichen darin, daß eine isolirte Kugel an einem erhabenen Ort aufgestellt und daselbst für kurze Zeit mit dem Boden in leitende Verbindung gebracht wird; dabei nimmt die Kugel eine Elektricität an, welche derjenigen gerade entgegengesetzt ist, mit welcher sich unter sonst gleichen Umständen nach der obigen Methode das Elektrometer geladen haben würde. Ist nämlich die Luft elektrisch, so wird sie durch Vertheilung die ihr entgegengesetzte Elektricität in die Kugel ziehen, welche mit dieser Elektricität geladen bleibt, wenn man die leitende Verbindung mit dem Boden wieder aufhebt.

Bei Lamont bildet die fragliche Kugel das obere Ende des Elektrometers. Behufs einer Beobachtung trägt er das Elektrometer auf das flache Dach der Sternwarte, berührt auf kurze Zeit mit dem Finger die Kugel oder noch besser die metallene Röhre, auf welcher sie sitzt, und trägt dann das Elektrometer wieder in das Zimmer herab, wo die Ablesung derselben vorgenommen wird.

Dellmann läßt das Elektrometer stets im Zimmer stehen. Die 3 bis 6 Zoll im Durchmesser haltende Ladungskugel *n*, Fig. 238, wird von einem Metallstäbchen getragen, welches in einem Fuß von Schellack befestigt ist. Eine Kautschukplatte bildet die Basis dieses Fußes, welcher mit einem Kautschukring umgeben in die obere Hälfte der messingenen ungefähr 10 Zoll langen Hülse *l* eingesetzt wird, wie Fig. 237 in größerem Maßstabe zeigt.

Am oberen Ende dieser Hülse wird das Stäbchen durch eine gleichfalls mit einem Kautschukringe umgebene Schellackplatte gehalten.

An der Giebelwand des Gebäudes, in welchem sich das Beobachtungszimmer befindet, sind in 2 Meter Abstand von einander zwei eiserne Stangen *a* und *b*, Fig. 238, eingelassen, welche ungefähr 1 Fuß von der Wand entfernt Ringe tragen, durch welche die 22 Fuß lange Stange *s* von Tannenholz hindurchgeht. Auf diese Stange wird nun von einem Fenster des Giebels aus die Hülse *l* mit der Sammelkugel aufgesetzt, und dann die Stange mittelst eines um eine

Rolle geschlungenen Seils aufgezogen, bis der eiserne Schuh *d*, auf welchem die

Fig. 238.

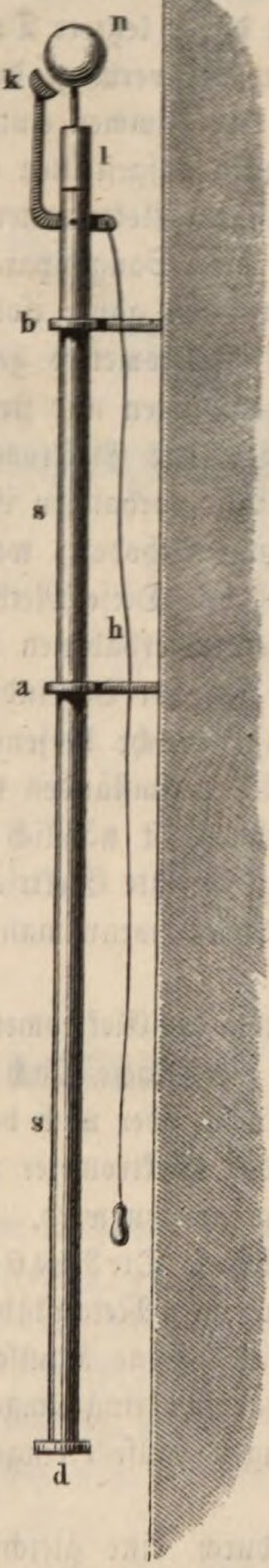
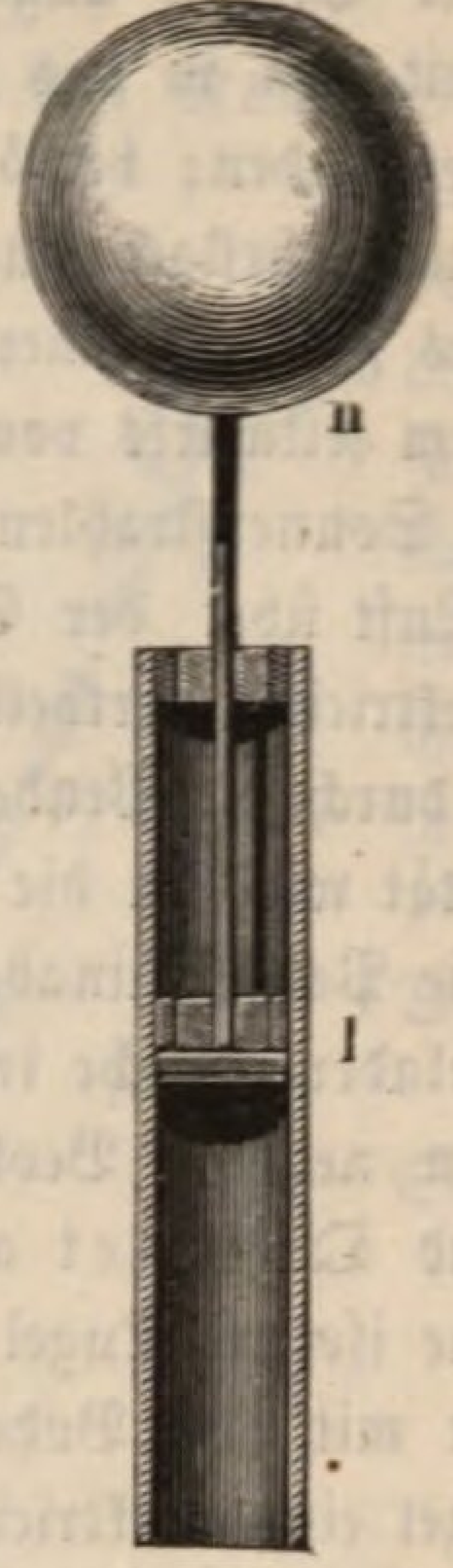


Fig. 237.



Stange *s* aufsitzt, an den Ring bei *a* anstößt. In dieser Stellung befestigt, ragt nun die Sammelkugel weit über den Giebel des Hauses hinweg. Um sie für kurze Zeit mit dem Boden in leitende Verbindung zu bringen, ist an der Stange ein metallener Hebel angebracht, von welchem ein Messingdraht herabhängt; durch Anziehen desselben wird der metallene Hebel so weit gedreht, daß der Messingbacken *k* die Kugel *n* berührt. Nachdem die Berührung kurze Zeit gedauert hat und die Kugel geladen ist, läßt man den Draht *h* wieder los, der Hebel fällt durch sein eigenes Gewicht in seine vorige Stellung zurück und nun wird die Stange wieder niedergelassen, die Hülse mit der Sammelkugel abgehoben und in das Zimmer zurückgebracht. Hier wird sie nun neben dem Elektrometer auf den Tisch gestellt, mit demselben durch einen ungefähr 1''' dicken und 1' langen sorgfältig isolirten Messingdraht in Verbindung gebracht und endlich der Ausschlag des Elektrometers abgelesen.

191 **Atmosphärische Elektricität an verschiedenen Localitäten.** Wenn man nach irgend einer der im vorigen Paragraphen angegebenen Methoden verfährt, so erhält man fast immer mehr oder weniger starke elektrische Ladungen, vorausgesetzt, daß sich keinerlei feste Körper gerade über den Saugspitzen oder der Sammelkugel befinden. In einem Zimmer, unter dem höchsten Gewölbe, im Inneren eines Waldes oder überhaupt unter Bäumen wird man nie eine Spur von Elektricität finden. Ist aber das Zenith wirklich frei, so zeigt sich unter sonst gleichen Umständen die atmosphärische Elektricität um so stärker, je weniger hohe Gegenstände sich neben den Saugspitzen oder den Ladungskugeln erheben; in der Ebene, auf freiem Felde erhält man also stärkere Ladungen als in der Sohle eines tief eingeschnittenen Thales oder auf der Straße zwischen Häusern.

Man hat deshalb die Sammelapparate so aufzustellen, daß sie möglichst frei stehen und daß sich in ihrer Nähe keine höheren Gegenstände befinden.

Die Intensität der Luftelektricität nimmt zu mit der Erhebung in der Atmosphäre. Wenn man das Strohhalmelektrometer unmittelbar mit einer Stahlspitze versieht, an derselben einen brennenden Schwefelfaden befestigt, und dann den Apparat mit der einen Hand in die Luft hebt, so wird die Divergenz der Pendel nur halb so groß, als wenn man den Versuch in der Fig. 233 angedeuteten Weise anstellt. Es rührt dies nur daher, daß sich im letzteren Falle die Spitze mit dem Schwefelfaden höher über dem Boden befindet als im ersteren. Je länger der in der Hand gehaltene Stab ist, welcher die Spitze trägt, desto stärker fällt die Ladung des Elektrometers oder der kleinen Leidner Flasche aus.

Schübler fand dies auch an einem freistehenden Thurme bestätigt; 30 Fuß über dem Boden und 5 Fuß von der Mauer weggehalten, zeigte das Elektrometer eine Divergenz von 15 Graden, während auf dem höchsten freien Punkte des Thurmes 180 Fuß über der Erdoberfläche die Divergenz auf 64° steigt; ferner fand er dies Gesetz auf einer Reise durch die Alpen bestätigt. Auf den Gipfeln hoher Bergspitzen und auf einzelnen isolirten schroffen Felsspitzen zeigte sich die Luftelektricität weit intensiver, als man sie unter sonst gleichen Umständen in ebenen Gegenden beobachtet.

Während der Luftfahrt, welche Biot und Gay-Lussac am 24. August 1804 unternahmen, machten sie neben anderen physikalischen Beobachtungen auch einige Versuche über Luftelektricität in den höheren Regionen. Sie ließen einen 240 Fuß langen unten mit einer Metallkugel beschwerten Metalldraht isolirt aus der Gondel herab und fanden, daß er an seinem oberen Ende mit — E geladen sei, deren Intensität bei fernerem Steigen zunahm (Gilbert's Annalen Bd. XX, S. 15), und somit bestätigen auch diese Versuche den oben ausgesprochenen Satz.

Die Luftelektricität bei verschiedenem Zustande des Himmels. 192

Bei heiterem unbewölkten Himmel ist die Luftelektricität stets positiv, d. h. ein mit einem Saugapparat in Verbindung gebrachtes Elektrometer, wie es z. B. Volta anwandte, wird bei heiterem Himmel stets mit positiver Elektricität geladen, während man nach den Methoden von Dellmann und Lamont eine negative Ladung erhält.

Bei heiterem Wetter brachte die Luftelektricität an dem von Schübler in Stuttgart angewandten Strohhalmelektrometer ungefähr eine Divergenz von 12 Graden hervor.

Sehr stark ist die Luftelektricität bei Nebeln, und zwar ist sie während derselben bis auf wenige Ausnahmen positiv, wie bei heiterem Himmel. Nach den Beobachtungen von Schübler bewirkt die positive Elektricität bei Nebeln im Durchschnitt eine Divergenz von 22,7° seines Elektrometers, sie ist also nahe doppelt so groß, als bei heiterem Himmel. Im Allgemeinen wächst die Stärke der atmosphärischen Elektricität mit der Dichtigkeit der Nebel.

Auch der Niederschlag des Thaues ist stets von einer starken Elektricität begleitet.

Fast alle atmosphärischen Niederschläge, wie Regen, Schnee, Hagel, zeigen sich bald mehr bald weniger elektrisch, und zwar ist ihre Elektricität in der Regel weit stärker als die, welche man bei heiterem Himmel sieht. Es zeigt sich hier auch nicht mehr bloß positive Elektricität, sondern abwechselnd positive und negative. So fand Schübler während 12 Monaten das meteorische Wasser 71mal positiv und 69mal negativ; der Schnee war jedoch hierbei 24mal positiv und nur 6mal negativ.

Am schwächsten zeigt sich die Elektricität des Regens, wenn er anhaltend und gleichmäßig in kleinen Tröpfchen niederfällt.

193 **Periodische Veränderungen der atmosphärischen Elektricität.** Wie der Druck, die Wärme und der Feuchtigkeitsgehalt der Atmosphäre fortwährenden Schwankungen unterliegen, so auch die Luftelektricität, und zwar ist auch hier eine Periodicität nicht zu verkennen, wenn man die Mittelzahlen betrachtet, welche sich aus längere Zeit fortgesetzten Beobachtungsreihen ergeben.

Der tägliche Gang der Luftelektricität bei heiterem Wetter wird von Schübler in folgender Weise beschrieben: Bei Sonnenaufgang ist die atmosphärische Elektricität schwach; sie fängt, so wie sich die Sonne mehr über den Horizont erhebt, langsam zu steigen an, während sich gewöhnlich gleichzeitig die in den tieferen Luftschichten schwebenden Dünste vermehren. Gewöhnlich steigt die Elektricität unter diesen Umständen im Sommer bis gegen 6 und 7 Uhr, im Frühling und Herbst bis gegen 8 und 9 Uhr, im Winter bis gegen 10 und 11 Uhr; die Elektricität erreicht um diese Zeit ihr Maximum. Gleichzeitig sind die unteren Luftschichten oft sehr dunstig, der Thaupunkt liegt höher als bei Sonnenaufgang; in kälterer Jahreszeit tritt oft wirklicher Nebel ein.

Die Elektricität bleibt gewöhnlich nur kurze Zeit auf diesem Maximum stehen; sie vermindert sich wieder, während die dem Auge etwa sichtbaren Dünste in den unteren Luftschichten verschwinden. Einige Stunden vor Sonnenuntergang, im Sommer gegen 4 bis 5 und 6 Uhr, im Winter gegen 3 Uhr, erreicht die atmosphärische Elektricität wieder ein Minimum, in welchem sie etwas länger verharrt als im Maximum.

Mit Sonnenuntergang nimmt die Luftelektricität wieder rasch zu, während sich gleichzeitig die Dünste in den unteren Schichten der Atmosphäre wieder vermehren, und erreicht $1^1/_2$ bis 2 Stunden nach Sonnenuntergang ihr zweites Maximum.

Ueberhaupt ist die positive Elektricität in den unteren Luftschichten um so stärker, in je größerer Menge sich Wasserdünste dem Auge sichtbar niederschlagen; am stärksten ist sie daher in der kalten Jahreszeit, wo Dünste und Nebel oft lange die unteren Luftschichten erfüllen, am schwächsten in den heißeren Sommermonaten, wo dies weit seltener der Fall ist, und wo die unteren Luftschichten gewöhnlich eine größere Klarheit und Durchsichtigkeit besitzen.

Die folgende Tabelle enthält die Resultate zweijähriger Beobachtungen, welche Schübler bei heiterem oder nur wenig bewölktem Himmel an-

stellte. Er sammelte die Elektricität in einer kleinen Leidner Flasche und maß dieselbe an einem mit einem Condensator versehenen Strohhalmelektrometer.

In den Monaten	Mittlere Stärke der Elektricität.				Mittlere Stärke.
	1tes Min. kurz vor ☉Aufgang.	1tes Max. einigeStunden nach ☉Aufgang.	2tes Min. einigeStunden vor ☉Untergang.	2tes Max. einigeStunden nach ☉Untergang.	
Januar	14,7	33,0	19,1	51,8	24,4
Februar	7,5	25,5	16,3	24,5	18,5
März	5,3	13,0	6,4	14,0	9,7
April	4,0	14,7	4,7	7,6	7,8
Mai	4,1	13,0	4,3	10,3	7,9
Juni	4,6	12,8	3,9	12,0	8,3
Juli	4,8	13,5	4,5	14,4	9,5
August	5,8	15,9	5,4	16,1	10,8
September . . .	5,5	15,4	5,0	15,6	10,4
October	7,2	15,3	6,3	19,7	12,3
November . . .	5,5	14,4	8,2	17,4	11,8
December . . .	12,4	18,8	12,8	20,7	16,3
Mittel	6,9	16,9	8,1	17,0	12,2

Durch lebhafte Winde, welche eine periodische Ansammlung von Dünsten verhindern, werden die täglichen Perioden der Luftelektricität sehr verwischt.

Die Elektricität der Wolken und der aus ihnen erfolgenden wässerigen Niederschläge zeigt einen merkwürdigen Gegensatz zur Elektricität der unteren Luftschichten.

Der Regen ist nämlich in den Sommermonaten ungleich stärker elektrisch, als in der kälteren Jahreszeit. Die Elektricität des Regens im Monat Juli ist im Durchschnitt nahe 10mal so stark als die Elektricität der Niederschläge im Januar.

Diese Resultate, welche Schübler und andere ältere Physiker aus ihren Beobachtungen gezogen haben, werden in ihren wesentlichen Punkten auch durch die neueren Beobachtungen bestätigt, von denen sehr zu wünschen ist, daß sie nicht allein an den Orten fortgesetzt werden, an welchen sie bereits begonnen wurden, sondern daß auch nach dem gleichen Plane mit vergleichbaren Instrumenten auch an anderen Orten fortlaufende Beobachtungen über diesen für die Meteorologie so wichtigen Gegenstand angestellt werden.

194 **Quelle der Luftelektricität.** Ueber den Ursprung der atmosphärischen Elektricität sind die Gelehrten noch nicht einig.

Längere Zeit hindurch fand Pouillet's Meinung, daß durch Verdampfung und Vegetation Elektricität erzeugt werde und daß hier die Quelle der Luftelektricität zu suchen sei, viele Anhänger. Reich fand zwar die Versuche bestätigt, welche Pouillet angestellt hatte, um darzuthun, daß bei Verdampfung von Salzlösungen Elektricität entwickelt werde, allein er zeigte, daß sich Pouillet über die Quelle dieser Elektricität getäuscht habe, daß nicht die Verdampfung, sondern die Reibung der fein zertheilten Flüssigkeit gegen die Tiegelwand die Ursache der Elektricitätsentwickelung sei. Ueberhaupt erhält man jene elektrischen Ladungen nur dann, wenn die Flüssigkeit siedet. Bei allmäliger Verdampfung konnte Rieß nie eine Spur von Elektricität nachweisen, und ebenso konnte Reich durch Verdampfung unter dem Siedepunkte nicht die allergeringste Elektricitätsentwickelung entdecken.

Alle Versuche, welche Reich anstellte, um eine etwaige Elektricitätsentwickelung durch Condensation von Wasserdämpfen zu entdecken, gaben negative Resultate.

Rieß wiederholte auch Pouillet's Versuche über die Elektricitätsentwickelung durch den Vegetations-Proceß; er fand zwar Spuren von Elektricität, aber bald war dieselbe positiv, bald negativ, und einige Controlversuche, die in gleicher Weise mit unbesäeter Erde angestellt wurden, machen es höchst wahrscheinlich, daß jene Spuren nicht von der Vegetation herrühren.

Kurz aus allen Versuchen von Rieß und Reich geht hervor, daß die Meinung, als ob Verdampfung und Vegetations-Proceß die Ursache der Luftelektricität seien, durchaus nicht experimentell begründet ist. (Siehe meinen Bericht über die neueren Fortschritte der Physik. Braunschweig 1849. Seite 14.)

So war denn der einzige Anhaltspunkt, den man zur Erklärung der atmosphärischen Elektricität glaubte gewonnen zu haben, wieder verloren.

Eine ganz neue Ansicht über den Ursprung der Elektricität, welche die in diesem Capitel besprochenen Erscheinungen bewirkt, hat der jüngere Peltier zuerst in einem Briefe an Quetelet ausgesprochen, und dieser Ansicht stimmt auch Lamont bei, welcher sie in seinem schon citirten Aufsatze ungefähr in folgender Weise entwickelt:

Die Erde besitzt eine gewisse Menge negativer Elektricität, deren Menge sich gleichbleibt, deren Vertheilung aber veränderlich ist. Diese Elektricität nennt Lamont die permanente Elektricität der Erde, zum Unterschied von der inducirten, die in jedem isolirten Körper, er mag permanent elektrisch sein oder nicht, durch einen genäherten elektrischen Körper hervorgerufen wird. Die Atmosphäre, d. h. die reine Luft hat gar keine Elektricität; sie ist unfähig, die Elektricität zu leiten oder zu behalten.

Wäre die Erde eine Kugel mit vollkommen glatter, gleichförmiger Oberfläche, so würden alle Punkte dieser Oberfläche gleich starke elektrische Span-

nungen zeigen. Diese Gleichheit wird aber durch zwei Umstände gestört, durch die Erhöhungen auf der Erdoberfläche und durch die Dünste, welche in der Atmosphäre schweben.

Es ist eine bekannte Thatsache, daß das elektrische Fluidum sich vorzugsweise in Spitzen und Kanten ansammelt, und dadurch erklärt es sich denn leicht, daß auf Hausdächern, Kirchthürmen, Bergspitzen u. s. w. die Elektricität in größerer Menge angehäuft ist, daß überhaupt die Ladung der Sammelapparate um so stärker wird, je höher man sie über den Boden erhebt.

Die zweite der oben erwähnten Ursachen, welche eine ungleiche Vertheilung der Elektricität auf der Erdoberfläche zur Folge haben, ist der in der Atmosphäre befindliche Wasserdampf, und zwar haben wir hier zweierlei Fälle zu unterscheiden. Entweder ist die Dunstmasse mit der Erde in Berührung oder sie ist isolirt. Im ersteren Falle tritt dasselbe Verhältniß ein, wie auf einem Berge; die Elektricität verläßt denjenigen Theil der Erdoberfläche, der mit der Dunstmasse in Berührung steht, und begiebt sich auf die Oberfläche der Dunstmasse. Im zweiten Falle muß man in Betracht ziehen, daß jeder Körper latente Elektricität in unbestimmten Massen enthält, die bei Annäherung eines anderen elektrischen Körpers nach den bekannten Gesetzen frei wird, und so kommt es, daß isolirt in der Luft schwebende Wolken durch die von der Erde ausgehende vertheilende Wirkung bald positiv bald negativ elektrisch werden.

Durch diese Hypothese finden nun alle oben beschriebenen Ladungserscheinungen an Elektrometern eine ebenso einfache und leichte Erklärung, wie durch die Annahme, daß die Luft elektrisch sei.

Auf ein mit der Spitze versehenes Elektrometer wirkt bei heiterem Himmel die negative Erdelektricität in der Weise vertheilend, daß die positive Elektricität des isolirten Systems in die Pendel herabgezogen, die negative aber in die Spitze getrieben wird, wo sie ausströmt.

In eine Kugel, welche, wie bei der Lamont'schen und Dellmann'schen Methode mit dem Boden in leitende Verbindung gebracht wird, muß natürlich negative Elektricität einströmen.

Nimmt man die Beobachtung bei bedecktem Himmel nach länger anhaltendem Regen vor, wo die Luft mit Dünsten gesättigt ist, also die Wolken mit der Erde in leitender Verbindung stehen, so zeigt das Elektrometer gar keine Spannung an. In diesem Falle hat sich die Elektricität an die obere Gränze der Wolken hinaufgezogen und der Beobachter befindet sich im Inneren des elektrisirten Körpers, wo natürlich ebenso wenig wie in einem Zimmer eine elektrische Spannung vorhanden sein kann.

Wenn isolirt von dem Boden elektrische Wolken in der Luft schweben, so werden sie vertheilend auf die Erdoberfläche zurückwirken. Eine negativ elektrische Wolke schwächt die permanente Elektricität der Erdoberfläche, und kann, wenn sie stark genug geladen ist, sogar eine Anhäufung positiver Elektricität an denjenigen Orten der Erdoberfläche bewirken, über welchen sie gerade schwebt.

Eine positiv elektrische Wolke dagegen wird durch Vertheilung die permanente negative Erdelektricität verstärken.

So ist denn jedenfalls in der Lamont'schen Hypothese der Erdelektricität eine Basis zur rationellen Erklärung der in diesem Capitel besprochenen elektrischen Erscheinungen gegeben, und es ist nun zu erwarten, ob weitere Forschungen in diesem Gebiet diese Hypothese bestätigen oder nicht.

Zweites Capitel.

Der Erdmagnetismus.

Magnetische Wirkung der Erde im Allgemeinen. Man kann die Grundlehren der Mechanik vollständig darstellen, ohne daß von der Planetenbewegung die Rede ist, man kann die gesammte Elektricitätslehre entwickeln, ohne daß man nöthig hätte, die Gewitter und die atmosphärische Elektricität in den Kreis der Betrachtung zu ziehen. — 195

Ganz anders verhält es sich mit dem Magnetismus. Die magnetischen Erscheinungen, welche man an Magnetstäben und Magnetnadeln beobachtet, stehen in so enger Beziehung zu dem Erdmagnetismus (die Pole der Magnete haben ja von dieser Beziehung sogar ihre Namen erhalten), daß schon in der Experimentalphysik nothwendig von demselben die Rede sein muß.

Während aber dort von dem Erdmagnetismus nur so weit die Rede sein kann, als zur Begründung der Lehre vom Magnetismus überhaupt nothwendig ist, bleibt es der kosmischen Physik vorbehalten, die magnetischen Verhältnisse der Erde einer specielleren Betrachtung zu unterwerfen.

Um die Wirkung des Erdmagnetismus an irgend einem gegebenen Orte der Erdoberfläche kennen zu lernen, muß man die Richtung und die Größe der Kraft erforschen, mit welcher er magnetische Körper afficirt. Die Richtung der magnetischen Erdkraft ist durch Declination und Inclination gegeben; um also die magnetische Erdkraft eines Ortes zu ermitteln, hat man nur die sogenannten magnetischen Constanten derselben, nämlich Declination, Inclination und Intensität, zu bestimmen.

Hier haben wir nun ausführlicher zu besprechen, wie die magnetischen Constanten sich mit der geographischen Lage des Beobachtungsortes ändern, und welchen periodischen Variationen die magnetische Erdkraft unterworfen ist.

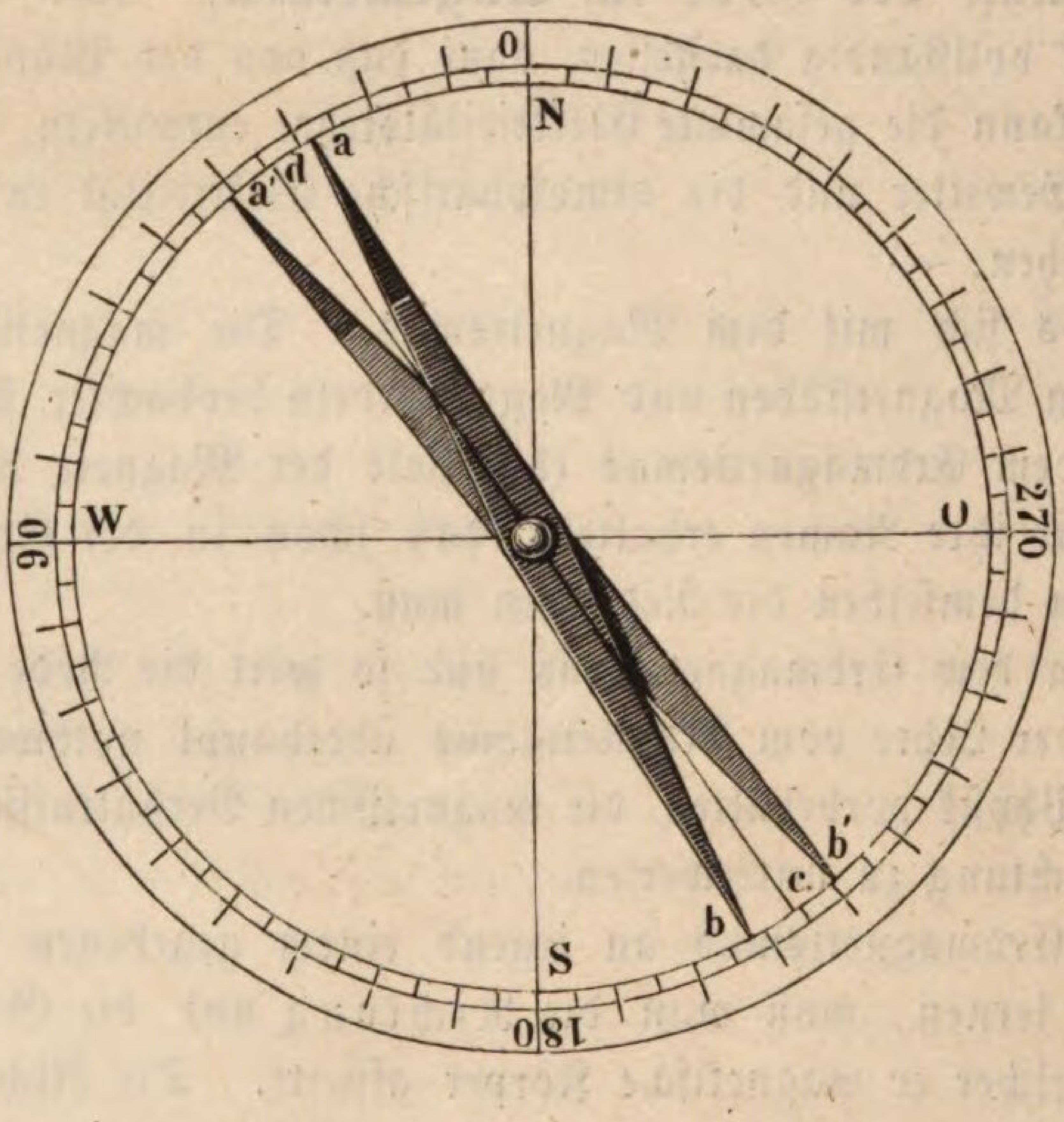
Welche Methoden anzuwenden sind, um die magnetischen Constanten eines Ortes zu ermitteln, muß der Hauptsache nach schon in der Experimentalphysik besprochen werden, doch bleibt auch in dieser Beziehung hier noch Manches nachzutragen.

196 **Bestimmung der magnetischen Declination.** Früher wandte man zur Bestimmung der magnetischen Declination nur Apparate an, welche nach dem Principe der Declinationsbussolen construirt waren. Wenn die magnetische Axe der Nadel mit der geometrischen, d. h. mit der Verbindungslinie der beiden Spitzen zusammenfiele, so würde man an dem getheilten Kreise der Bussole unmittelbar die Declination ablesen können, vorausgesetzt, daß das Instrument so aufgestellt ist, daß die Verbindungslinie der Theilstriche 0 und 180 genau in den astronomischen Meridian fällt.

Im Allgemeinen ist aber diese Bedingung nicht erfüllt, d. h. die magnetische Axe der Nadel weicht in der Regel mehr oder weniger von der geometrischen ab. Dieser Fehler wird nun durch die Methode des Umkehrens corrigirt.

Zu diesem Zwecke ist die Nadel nicht auf ihrem Hütchen befestigt, sondern nur aufgelegt, so daß man sie abheben, umkehren (d. h. die bis dahin nach oben gerichtete Fläche nach unten wenden) und dann wieder auflegen kann. In Fig. 239 stelle z. B. *a b* die Lage einer horizontalen Magnetnadel dar, deren magnetische Axe in die Linie *d c* fällt, so ist die Gradzahl, auf welche die Spitze *a* der Nadel deutet, offenbar kleiner als der gesuchte Declinationswinkel. Legt man aber nun die Nadel in der angegebenen Weise um, so nimmt sie jetzt die Lage *a′ b′* an, und es deutet die Spitze *a′* der Nadel auf eine Gradzahl, welche um eben so viel zu groß ist, wie sie vorher zu klein war; man erhält also den wahren Werth der Declination, wenn man aus den beiden Ablesungen bei *a* und *a′* das Mittel nimmt.

Fig. 239.



Die Methode des Umlegens muß auch noch angewandt werden, wenn man die absolute Declination eines Ortes mit Hülfe von Spiegel tragenden Magneten bestimmt (Lehrbuch der Physik, 4. Aufl. Bd. II.), da man es doch nicht wohl dahin bringen kann, daß die Ebene des Spiegels absolut rechtwinklig zu der magnetischen Axe des Magnetstabes ist. Es versteht sich von selbst, daß der Spiegel mit dem Magneten auf eine unveränderliche Weise verbunden ist, so daß er bei dem Umlegen mit umgedreht wird, wenn man die Methode des Umlegens in Anwendung bringen will, mag sich nun der Spiegel am vorderen Ende des Magneten befinden oder an seiner Umdrehungsaxe; im letzteren Falle wird sich

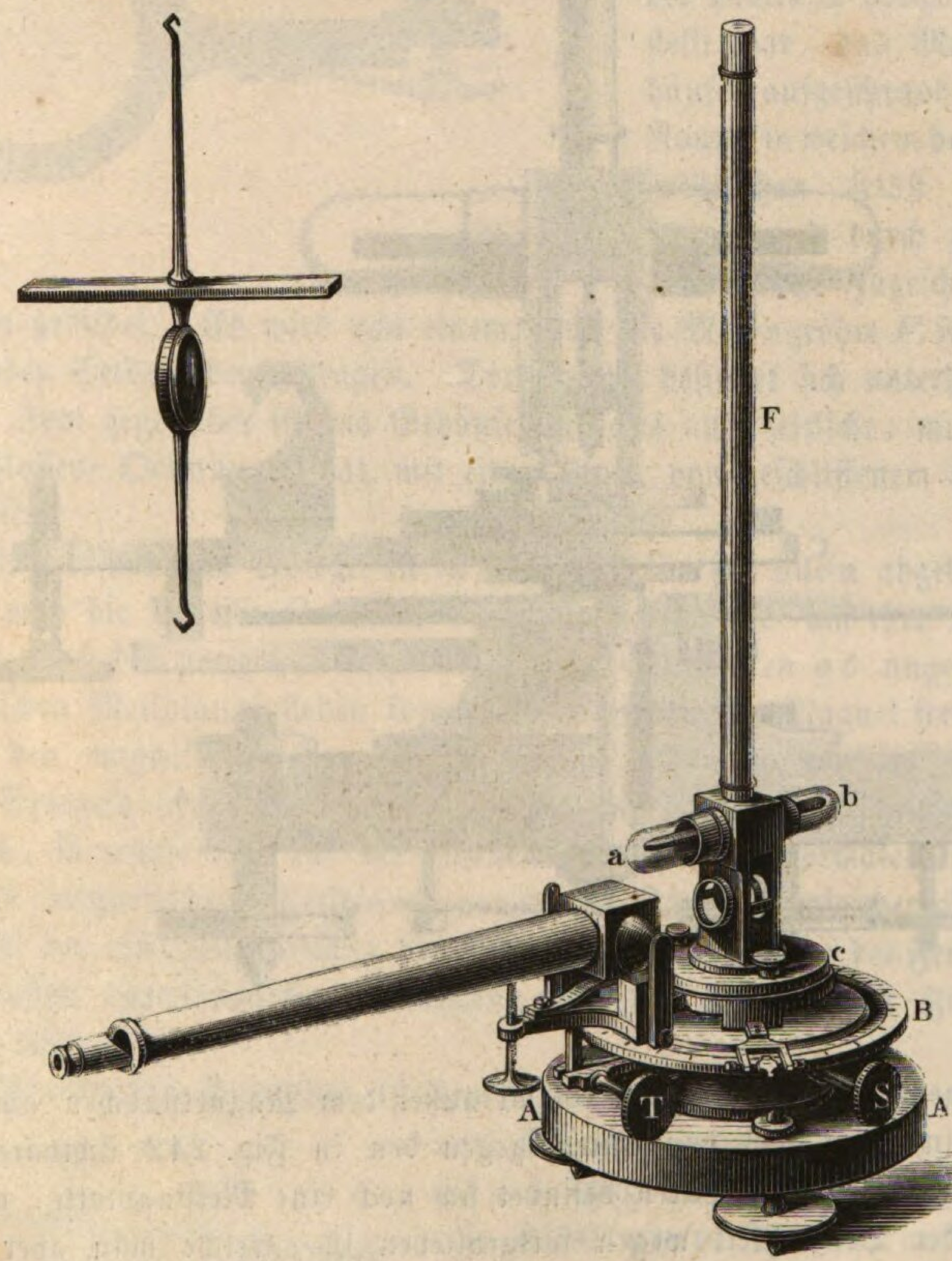
natürlich der Spiegel in der einen Lage über, in der anderen unter dem Magneten befinden (Fig. 240).

Da es höchst wünschenswerth ist, daß die magnetischen Constanten nicht allein für solche Orte mit Genauigkeit bestimmt werden, an welchen magnetische Observatorien errichtet worden sind, daß namentlich auch auf wissenschaftlichen Reisen dergleichen Bestimmungen gemacht werden, so ist es höchst wichtig, daß die für solche Zwecke nöthigen Apparate möglichst vereinfacht, daß sie bei großer Genauigkeit doch compendiös und leicht transportabel gemacht werden. In dieser Beziehung hat sich vor Allen Lamont durch die Construction seines magnetischen Reisetheodoliten große Verdienste erworben.

Fig. 241 ist eine perspectivische Ansicht von Lamont's magnetischem

Fig. 240.

Fig. 241.

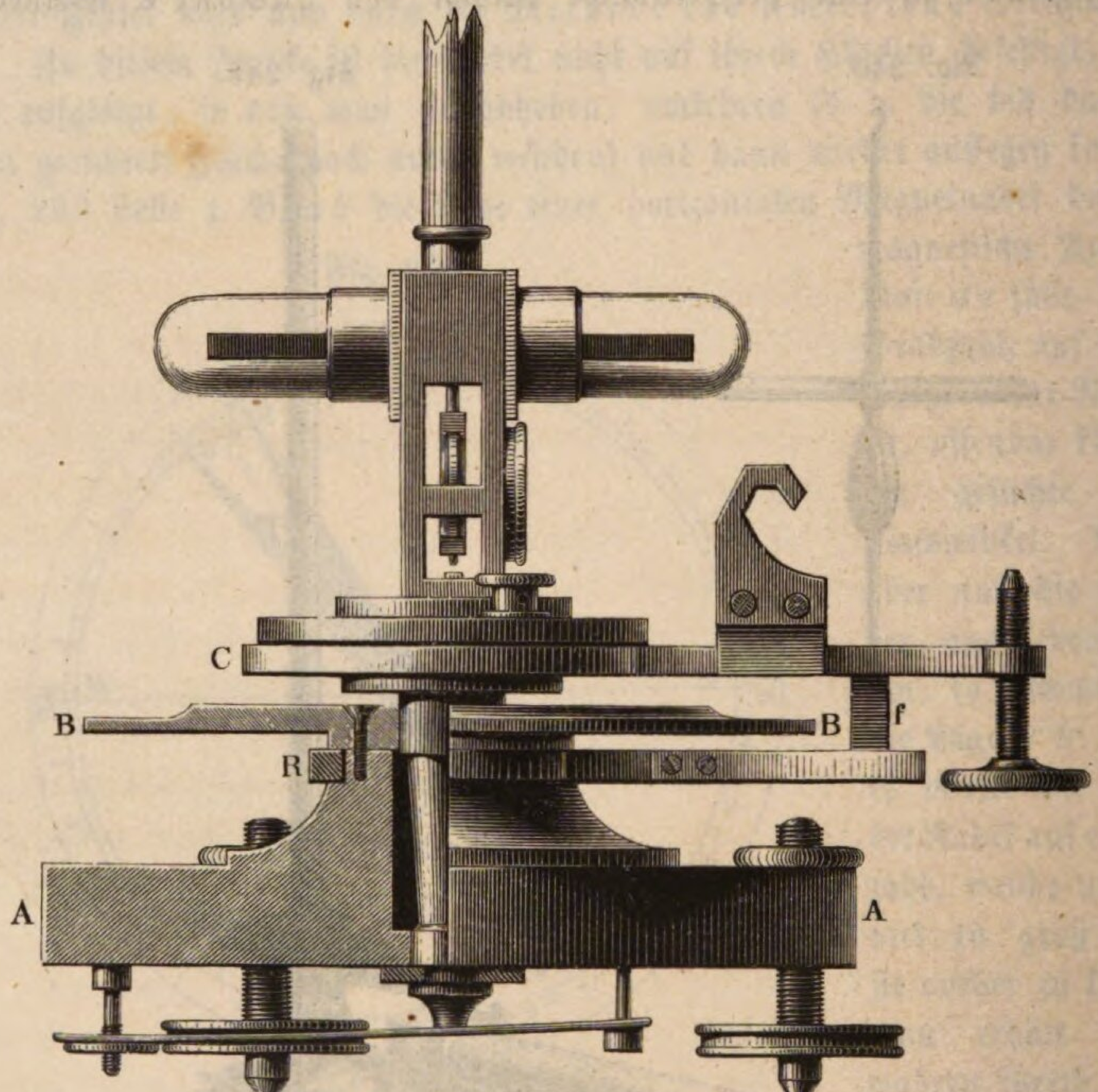


Theodoliten, wie er zu Declinationsbestimmungen dient. *A A* ist eine massive messingene Platte, welche, mit drei Stellschrauben zum Horizontalrichten versehen, auf ein passendes, in unserer Fig. nicht dargestelltes Stativ gestellt wird. Mit dieser Platte unveränderlich verbunden ist die am Rande mit einem getheilten Silberringe ver-

sehene Scheibe *B B*. In Fig. 242 ist ein geometrischer Aufriß des Apparats in $1/2$ der natürlichen Größe und zwar zum Theil im Durchschnitt dargestellt. Durch die Höhlung der Platte *A A* hindurch geht eine verticale Axe, welche die Scheibe *C* trägt. Die Scheibe *C* kann in ihrer Ebene um diese verticale Axe gedreht werden, und diese Drehung mit Hülfe zweier Nonien (wovon der eine in Fig. 241 sichtbar ist), die an *C* befestigt sind und an seiner Drehung Theil nehmen, auf dem getheilten Kreise abgelesen werden.

Die Scheibe *C* trägt eine horizontale Verlängerung, welche als Fernrohrträger dient. Eine horizontale Axe, um welche sich das Fernrohr drehen kann, wird durch

Fig. 242.

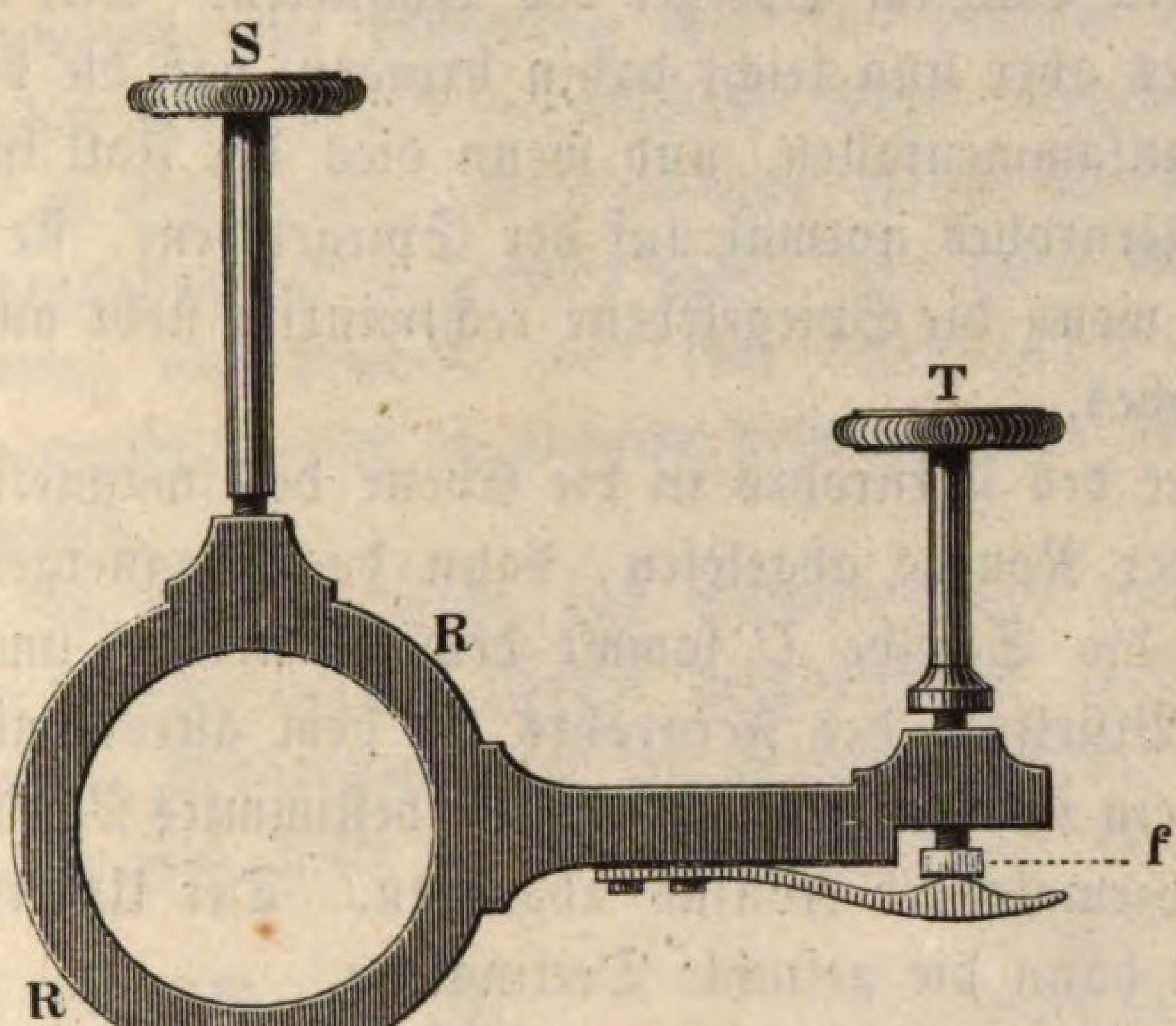


eine messingene Feder (überhaupt kommt außer dem Magnetstäbchen am ganzen Apparat kein Eisen vor) von unten gegen den in Fig. 242 sichtbaren Haken angedrückt. Vor diesem Haken befindet sich noch eine Messingplatte, welche in Fig. 242 der Deutlichkeit wegen fortgeblieben ist, welche man aber in der perspectivischen Ansicht erkennt und welche dazu dient, eine seitliche Bewegung der Fernrohraxe zu verhindern. Ferner geht von dieser das Fernrohr tragenden Verlängerung noch ein Stäbchen *f* herab, welches zwischen eine Verlängerung des Ringes *R* und eine an denselben angeschraubte Messingfeder hineinpaßt.

Dieser Ring *R*, welcher, um den Träger des getheilten Kreises herumgelegt,

um denselben sich frei drehen läßt, ist in Fig. 243 im Grundriß dargestellt. Durch Anziehen der Klemmschraube S wird der Ring R festgestellt und dadurch auch eine weitere Umdrehung der Scheibe C mit Allem, was darauf befestigt ist, verhindert; eine feinere Einstellung geschieht dann mittelst der Stellschraube T.

Fig. 243.



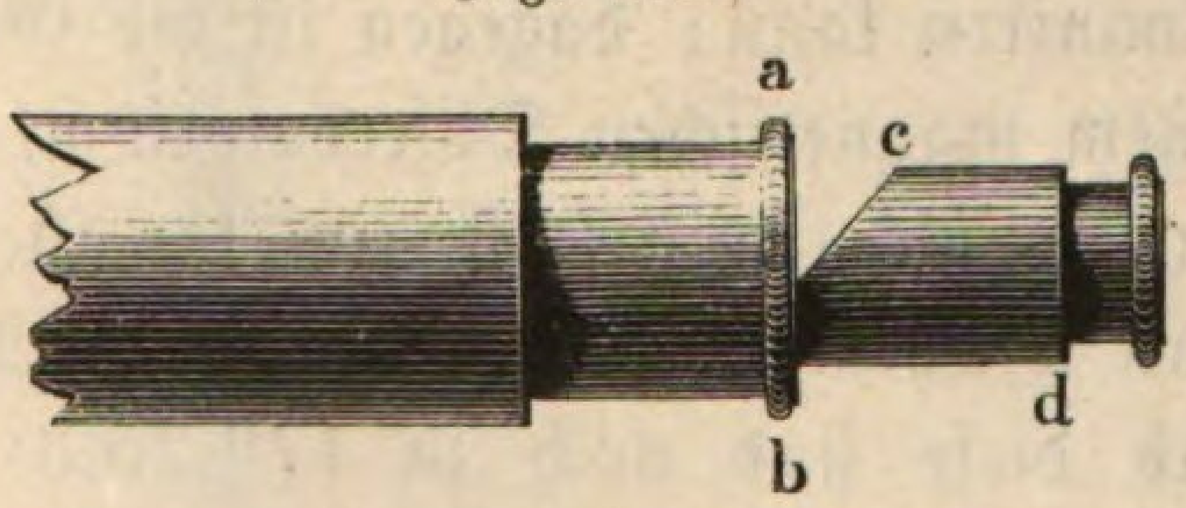
Auf die Scheibe C wird nun, nachdem man dieselbe mit Hülfe einer Wasserwage und der drei Stellschrauben der Platte A horizontal gestellt hat, das Magnetgehäuse aufgeschraubt. Der Raum, in welchem das Magnetstäbchen selbst spielen kann, wird durch zwei an den Enden zugeschmolzene Glasröhrchen gebildet. Es wird von einem durch die Messingröhre F, Fig. 241, herabhängenden Seidenfaden getragen. Der Spiegel befindet sich unterhalb des Magneten. Ihm gegenüber ist das Gehäuse, welches auch seitliche, mit Glasplatten geschlossene Oeffnungen hat, mit einer Platte von geschliffenem Spiegelglas geschlossen.

Der Magnet mit dem Spiegel ist in Fig. 240 für sich allein abgebildet.

Wenn man die Scheibe C sammt dem Magnetgehäuse um ihre verticale Axe so dreht, daß die horizontale Axe der beiden Glasröhren $a\,b$ ungefähr in den magnetischen Meridian zu stehen kommt, so kann nun der Magnet frei spielen und sich in den magnetischen Meridian einstellen. Nehmen wir an, daß die Ebene des Spiegels genau rechtwinklig stände auf der magnetischen Axe des Magnetstabes, so würde eine auf der Ebene des Spiegels normale Linie die Richtung des magnetischen Meridians angeben. Die Normale der Spiegelebene wird bei der richtigen Stellung des Apparates durch die Axe des Fernrohres bezeichnet, dessen eigenthümliche Einrichtung aus dem Durchschnitt Fig. 244 deutlicher zu ersehen ist.

Das Objectiv des Fernrohrs ist dem Spiegel zugewendet. Da wo das vom Objectiv entworfene Bild entsteht, bei $a\,b$, Fig. 244, ist das Rohr durch eine Glasplatte verschlossen, auf welcher eine senkrechte und eine wagerechte feine Linie eingeritzt sind, welche die Stelle des Fadenkreuzes vertreten. Das Ocular steckt in der Hülse $c\,d$, welche von oben her zur Hälfte eingeschnitten ist, so daß

Fig. 244.



man in diesen Einschnitt ein Spiegelchen legen kann. Dieser kleine Spiegel dient zur Erleuchtung des Fadenkreuzes. Ist der Apparat nahezu in die richtige Lage gebracht, so erblickt man, durch das Ocular schauend, den verticalen Strich einmal direct und dann noch sein Bild im Spiegel des Magneten. Mit Hülfe der Stellschraube T kann man es aber nun leicht dahin bringen, daß die beiden Bilder des verticalen Striches zusammenfallen, und wenn dies der Fall ist, so steht in der That die Axe des Fernrohrs normal auf der Spiegelebene, sie steht also im magnetischen Meridian, wenn die Spiegelebene rechtwinklig steht auf der magnetischen Axe des Magnetstabes.

Ist auf diese Weise die Axe des Fernrohrs in die Ebene des magnetischen Meridians eingestellt, so wird der Nonius abgelesen, dann das Magnetgehäuse vom Theodolit abgehoben und die Scheibe C sammt dem Fernrohre um die verticale Axe gedreht, bis die Visirlinie des Fernrohrs in dem astronomischen Meridian steht, bis es also auf ein für den Beobachtungsort bestimmtes Meridianzeichen gerichtet ist, und nun abermals der Nonius abgelesen. Der Unterschied dieser beiden Ablesungen ergiebt dann die gesuchte Declination.

Wenn, wie es wohl meistens der Fall ist, für den Ort, wo das magnetische Theodolit aufgestellt wurde, gerade kein Meridianzeichen vorhanden ist, so richtet man das Fernrohr auf irgend einen entfernten Punkt, dessen Azimut für den Beobachtungsort entweder schon bekannt ist, oder aus genauen Karten ermittelt werden kann, und bestimmt also den Winkel, welchen der magnetische Meridian mit der nach dem fraglichen Orte gerichteten Visirlinie macht.

So fand z. B. Lamont, als er am 7. October 1852 auf dem Schloßberge bei Freiburg sein Theodolit aufgestellt hatte und die Visirlinie des Fernrohrs recktwinklig auf der Ebene des Magnetspiegels stand, daß der Nonius auf 308° 22,6′ zeigte. Nach Abnahme des Magnetgehäuses wurde das Fernrohr auf die Spitze des Kirchthurms von Langendenzlingen (ungefähr zwei Stunden nördlich von Freiburg) gerichtet, und nun zeigte der Nonius auf 278° 14,3′; der Unterschied der beiden Ablesungen beträgt also 30° 8,3′.

Den Generalstabskarten zufolge liegt die Visirlinie von dem Beobachtungspunkte auf dem Schloßberge nach dem Kirchthurme von Denzlingen noch 12° 43′ östlich vom astronomischen Meridian; diese 12° 43′ sind nun noch von 30° 8,3′ abzuziehen, und so bleibt also für die Declination der Werth 17° 25,3′.

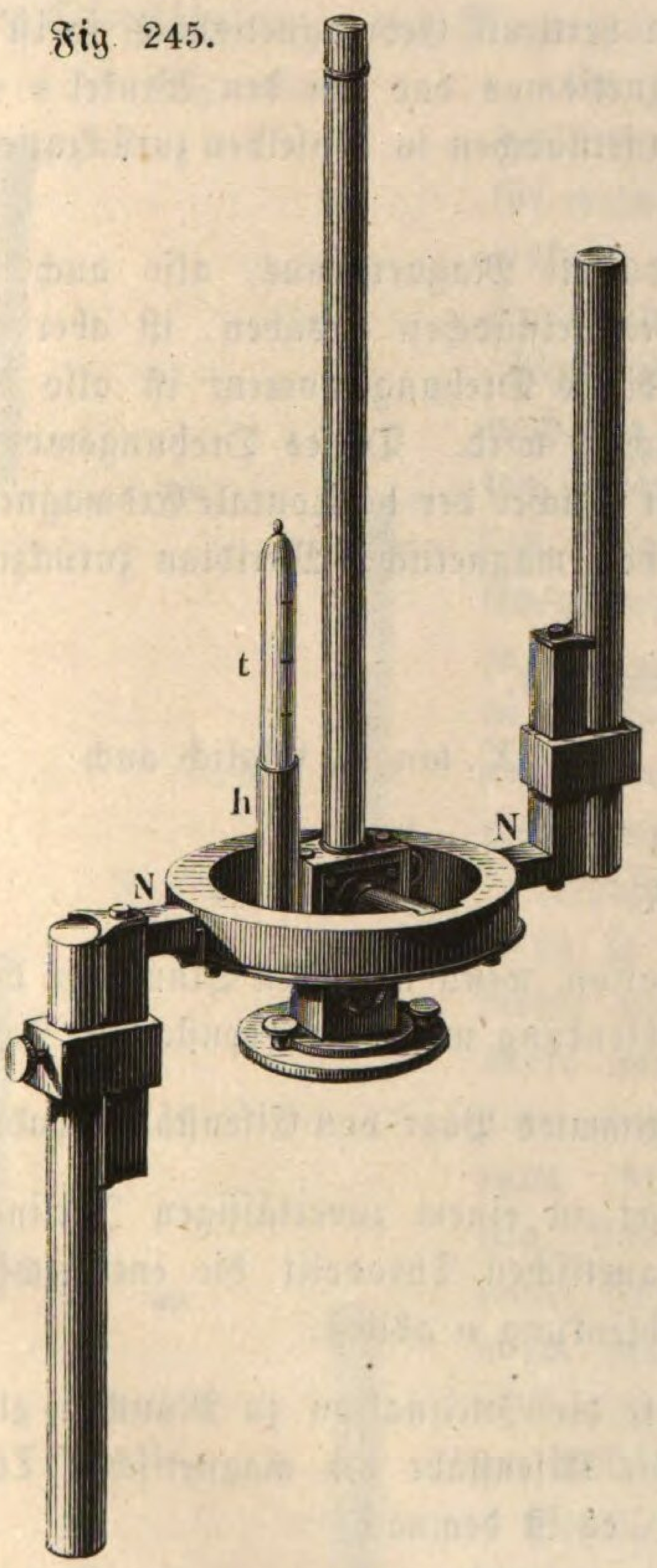
Dies wäre der wahre Werth der Declination, wenn die Ebene des Spiegels absolut rechtwinklig auf der magnetischen Axe des Magneten stände, was mit voller Genauigkeit nie erreichbar ist. Der magnetische Reisetheodolit ist nicht so eingerichtet, daß man den Magneten umlegen und alsdann mittelst einer zweiten Messung den Collimationsfehler eliminiren kann; dagegen ist die Größe dieses Fehlers durch genaue Messung in einem magnetischen Observatorium, für welches die Lage des magnetischen Meridians bereits ermittelt ist, ein- für allemal bestimmt. Für das fragliche Instrument, mit welchem Lamont die obigen Messungen ausführte, beträgt er + 14,5′, und diese sind noch zu 17° 25,3′ zu addiren, um den wahren Werth der Declination für Freiburg zu finden, welcher demnach 17° 39,8′ ist.

Bestimmung der Inclination. Die Inclination läßt sich nicht so leicht direct mit Genauigkeit bestimmen als die Declination, weil es ungemein schwierig ist, zuverlässige Inclinatorien zu construiren, weshalb denn auch diese Instrumente sehr kostspielig und für öfteren Transport wenig geeignet sind. Man hat deshalb auf mannigfache Weise versucht, die Inclination auf indirectem Wege zu bestimmen. Brugmann sprach zuerst die Idee aus, den durch den Erdmagnetismus im weichen Eisen inducirten Magnetismus zur Inclinationsbestimmung anzuwenden, und eine von Lloyd auf diese Idee gegründete Methode wurde bereits in meinem Lehrbuche der Physik (4. Aufl. Bd. II., S. 24) besprochen. 197

In anderer Weise hat Lamont die magnetische Induction im weichen Eisen benutzt, um an seinem magnetischen Reisetheodolit eine Vorrichtung zur indirecten Bestimmung der magnetischen Inclination anzubringen.

In Fig. 245 ist das Magnetgehäuse sammt der Inclinationsvorrichtung dargestellt. Auf das Magnetgehäuse wird zunächst eine Messingplatte aufgesetzt, welche eine Hülse *h* zum Einstecken eines Thermometers *t* trägt. Auf diese Scheibe wird der massive Messingring *NN* aufgesetzt, welcher, oben und unten eben abgeschliffen, überall möglichst von gleicher Dicke ist; dieser Ring trägt seitlich zwei Arme, von denen der eine aufwärts, der andere abwärts gerichtet ist.

Fig. 245.



In diese zwei Arme werden zwei runde Stäbe von weichem Eisen eingesteckt und mittelst entsprechender Schrauben festgeklemmt.

Bevor man den Ring mit den Eisenstäben auffetzt, wird das Instrument gerade so eingestellt, wie zu einer Declinationsbestimmung, d. h. so daß, wenn man in das Fernrohr schaut, das durch den Magnetspiegel reflectirte Bild des verticalen Fadens mit dem direct gesehenen zusammenfällt. Nun wird der Ring mit den Eisenstäben auf das Magnetgehäuse gesetzt, und zwar so, daß die Verticalebene der beiden Stäbe, durch die Mitte des Magnetstäbchens gehend, auf dem magnetischen Meridian rechtwinklig steht.

In der Höhe des Magnetstäbchens befindet sich nun auf der einen Seite ein Nordpol (das untere Ende des nach oben gekehrten Eisenstabs), auf der an-

deren ein Südpol (das obere Ende des nach unten gekehrten Eisenstabs), und diese beiden magnetischen Pole bewirken in gleichem Sinne eine Ablenkung des Magnetstäbchens aus dem magnetischen Meridian. Die Größe dieser Ablenkung erfährt man, wenn man die Platte *C*, Fig. 241, sammt Allem, was darauf und daran befestigt ist, um ihre verticale Axe dreht, um dem abgelenkten Magnetstäbchen zu folgen, bis die Axe des Fernrohrs wieder rechtwinklig steht auf der Ebene des Magnetspiegels, bis also die beiden Bilder des verticalen Fadens wieder zusammenfallen, wenn man in das Ocular des Fernrohrs hineinschaut.

Liest man jetzt den Nonius abermals ab, so giebt die Differenz dieser und der ersten Ablesung die Größe des Winkels, um welchen das Magnetstäbchen durch den Einfluß des in den beiden Eisenstäben inducirten Magnetismus aus dem magnetischen Meridian abgelenkt worden ist. Wir wollen diesen Ablenkungswinkel mit v bezeichnen und zunächst sehen, in welchem Zusammenhange der Werth dieses Winkels v mit der Inclination i steht.

Es sei X der horizontale und Y der verticale Erdmagnetismus, so ist die Kraft, mit welcher der horizontale Erdmagnetismus das um den Winkel v aus dem magnetischen Meridian abgelenkte Magnetstäbchen in denselben zurückzuziehen strebt, gleich $X \sin. v$.

Der in den beiden Eisenstäben inducirte Magnetismus, also auch das Drehungsmoment, welches sie auf das Magnetstäbchen ausüben, ist aber dem verticalen Erdmagnetismus proportional, dieses Drehungsmoment ist also KY, wenn durch K ein constanter Factor bezeichnet wird. Dieses Drehungsmoment hält aber der Kraft das Gleichgewicht, mit welcher der horizontale Erdmagnetismus das abgelenkte Magnetstäbchen nach dem magnetischen Meridian zurückzieht, wir haben also

$$X \,.\, \sin. v = KY.$$

Setzt man die Inclination gleich i, so ist $Y = X \,.\, tang.\, i$, folglich auch

$$tang.\, i = \frac{1}{K} \sin. v.$$

Man erhält also die Tangente der Inclination, wenn man den Sinus der durch die verticalen eisernen Stäbe bewirkten Ablenkung mit einem constanten Factor $\frac{1}{K}$ multiplicirt, dessen Werth für ein bestimmtes Paar von Eisenstäben dadurch ermittelt wird, daß man für denselben Ort an einem zuverlässigen Inclinatorium die Inclination i und an dem magnetischen Theodolit die entsprechende durch die verticalen Eisenstäbe bewirkte Ablenkung v abliest.

So fand Lamont im Jahre 1850 die Inclination zu München gleich $64^0\ 59{,}5'$ und die entsprechende durch die Eisenstäbe am magnetischen Theodolit bewirkte Ablenkung gleich $20^0\ 18{,}4'$, es ist demnach

$$\frac{1}{K} = \frac{tang.\ 64^0\ 59{,}5'}{sin.\ 20^0\ 18{,}4'} = 6{,}177.$$

Ist einmal dieser Factor für ein bestimmtes Instrument mit bestimmten Eisenstäben ermittelt, so reicht an einem anderen Orte nur die Beobachtung der Ablenkung v hin, um aus derselben die entsprechende Inclination zu berechnen. Im Jahre 1850 fand z. B. Lamont zu Aschaffenburg mit seinem Instrumente die fragliche Ablenkung gleich 22° 1′; für Aschaffenburg wäre demnach

$$tang.\, i = 6{,}177\,.\, sin.\ (22^0\ 1')$$

und darnach

$$i = 66^0\ 38{,}5'.$$

Es ist bisher nur von einer einmaligen Beobachtung der durch den inducirten Magnetismus der Eisenstäbe hervorgebrachten Ablenkung die Rede gewesen; da aber die Eisenstäbe nie absolut frei von permanentem Magnetismus sind, so ist es nothwendig, die Beobachtung in der Weise zu vervielfältigen, daß dadurch ein vom permanenten Magnetismus herrührender, sowie sonstige Fehler möglichst eliminirt werden; es geschieht das dadurch, daß man in der Stellung der Eisenstäbe gegen das Magnetstäbchen so viel Variationen macht als möglich.

Fig. 246.

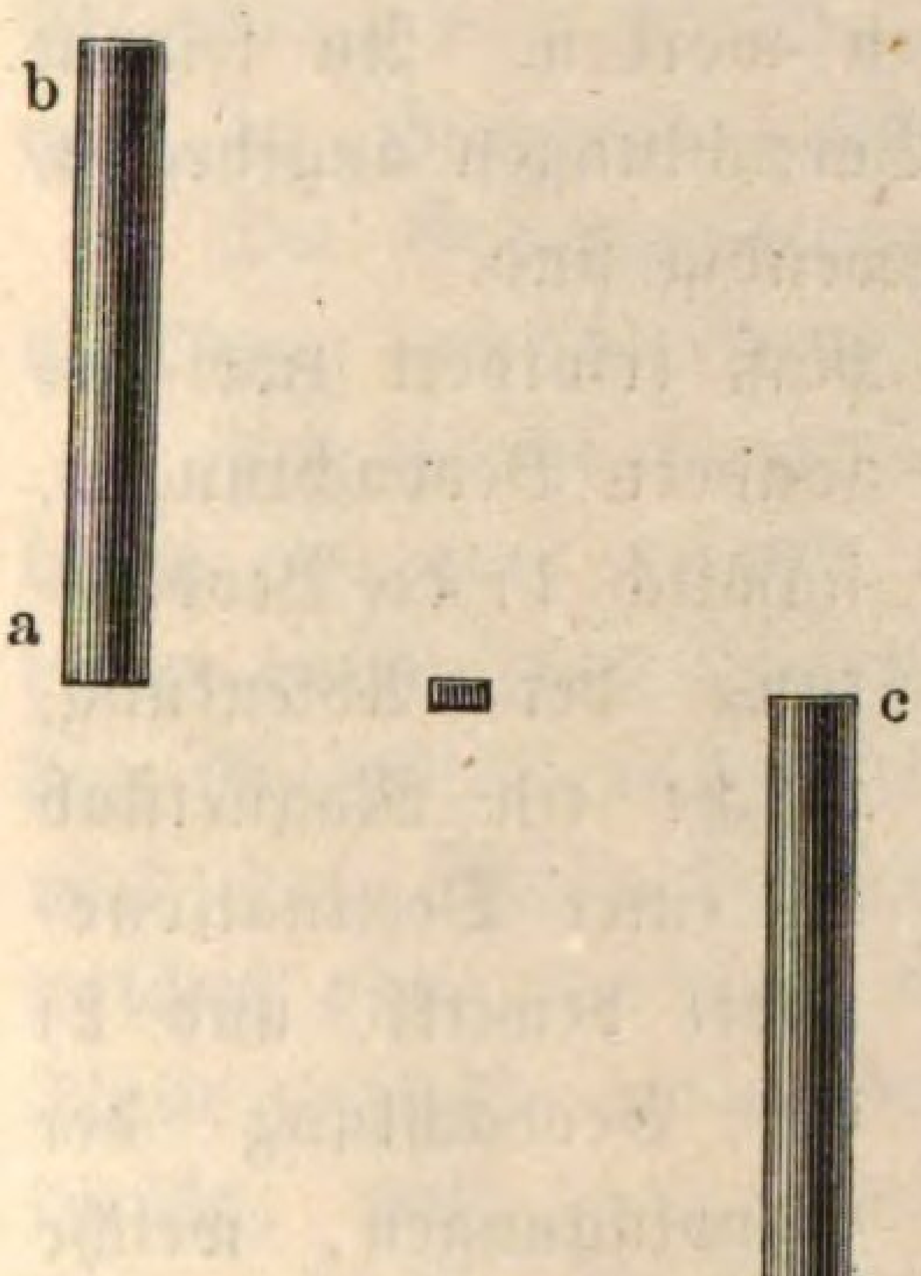
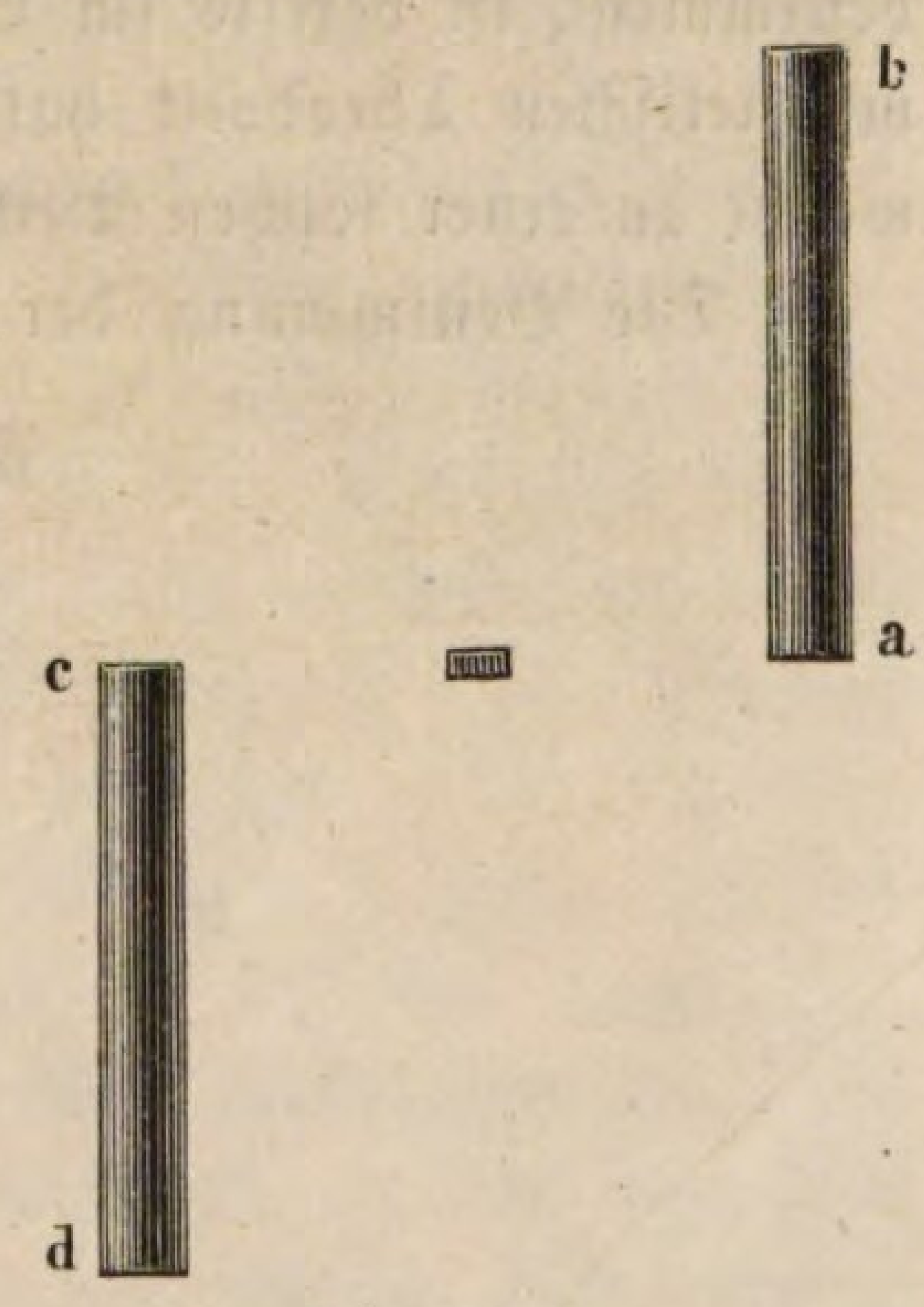


Fig. 247.



Es stelle Fig. 246 die erste Stellung dar, für welche man die Ablenkung beobachtet hat, so erhält man eine entsprechende Ablenkung nach der entgegengesetzten Seite, wenn man den Ring in seiner Ebene um 180° dreht, so daß nun die Eisenstäbe in die Position Fig. 247 gegen die Magnetstäbchen kommen.

Kehrt man nun den Ring so um, daß die bisher untere Fläche die obere wird, so erhält man eine dritte Stellung der Eisenstäbe, Fig. 248, und eine vierte, Fig. 249, endlich, wenn man den Ring wieder in seiner Ebene um 180° dreht.

Bei diesen vier Stellungen waren die Eisenstäbe stets in gleicher Weise

Fig. 248.

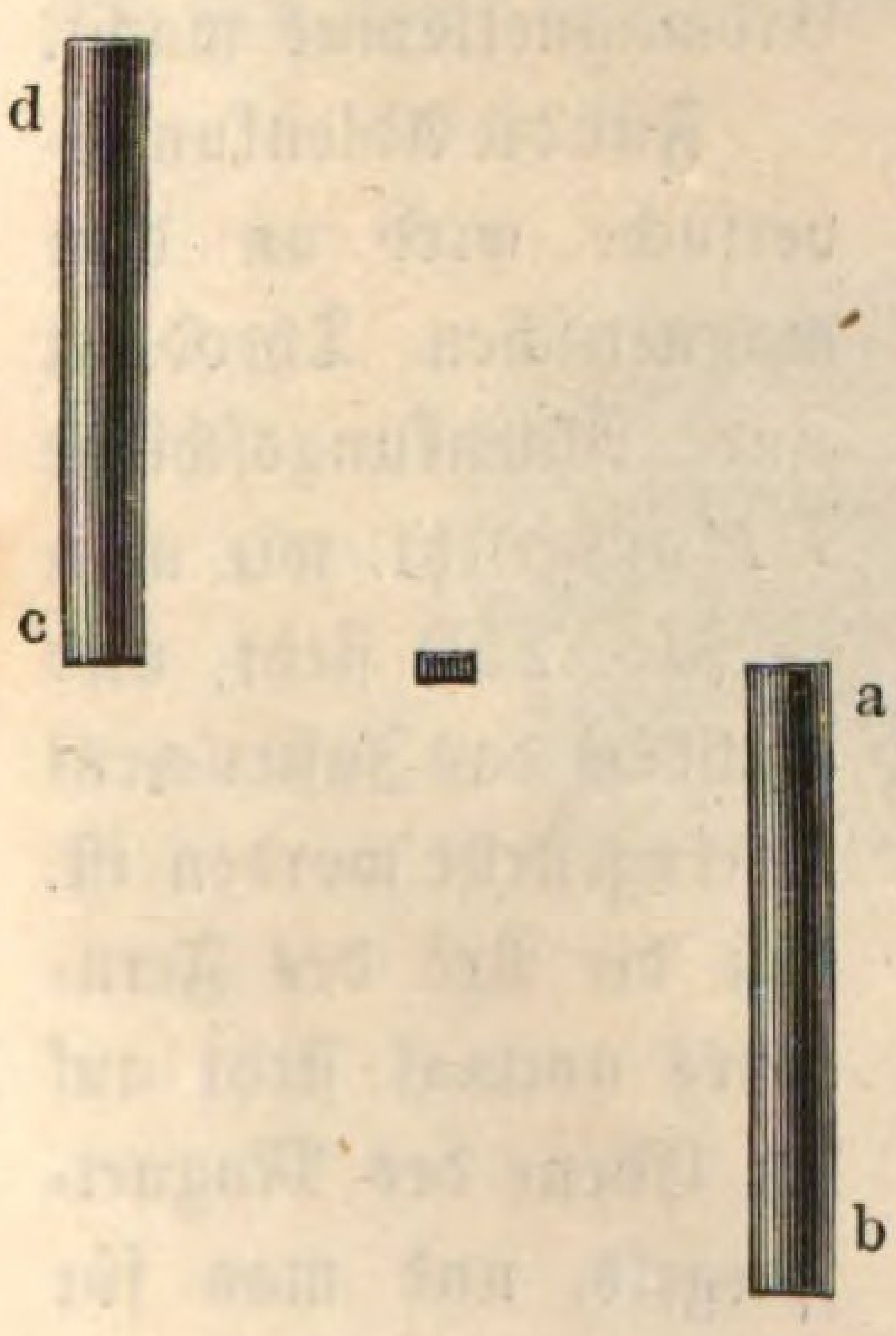
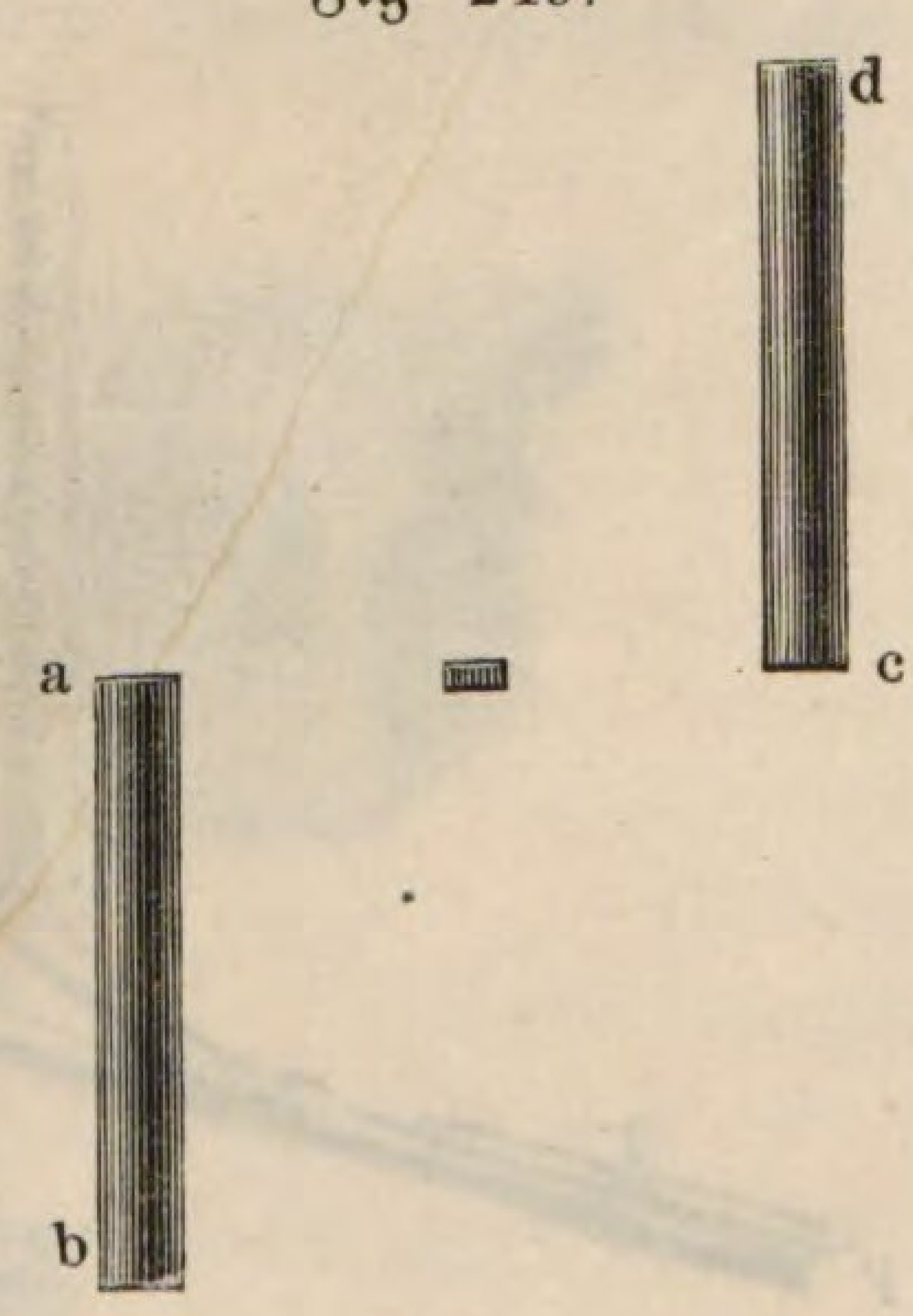


Fig 249.



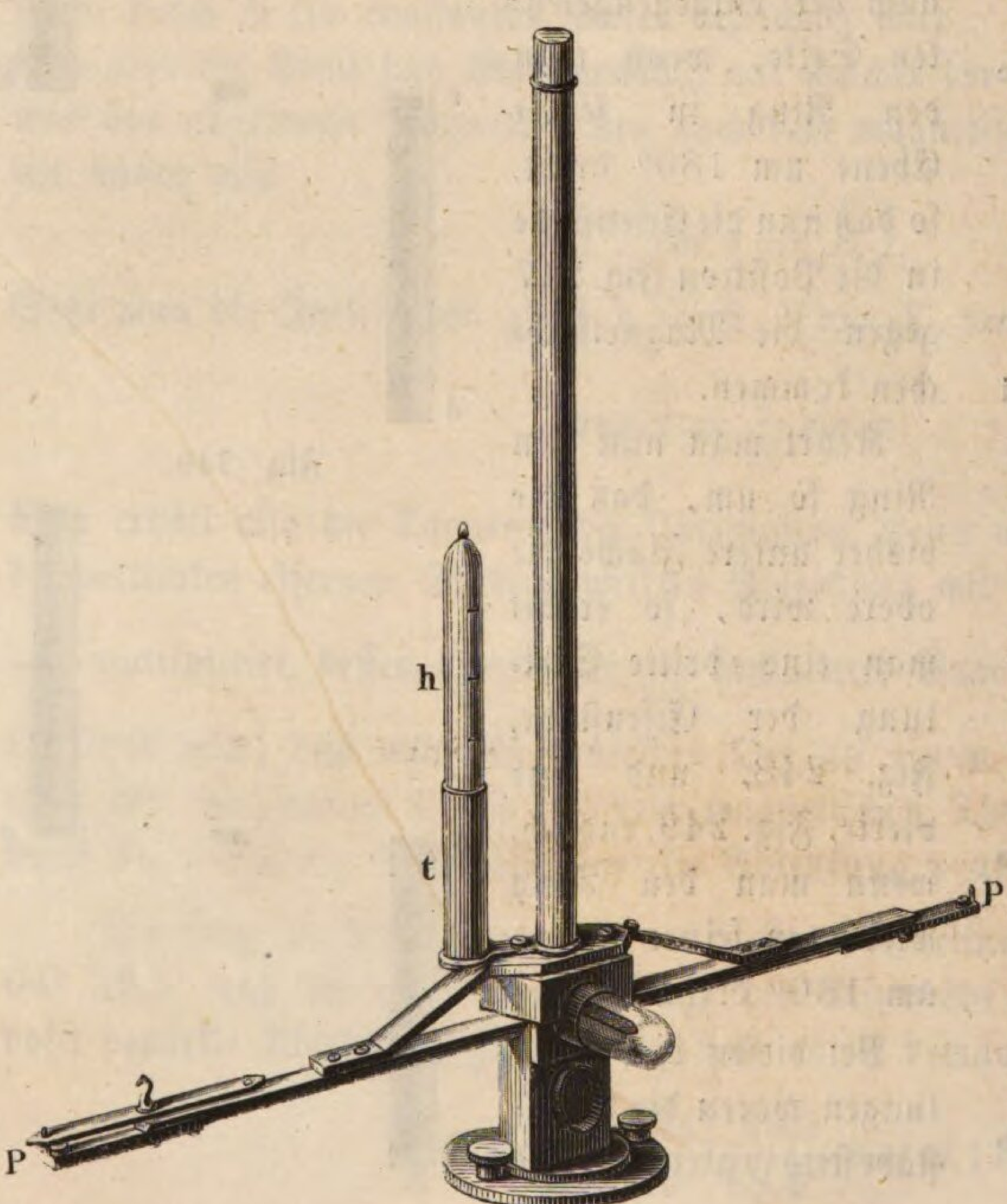
eingeklemmt; nun aber kann man jeden in seinem Halter umkehren, so daß die Stabenden *b* und *d* in die Horizontalebene des Magnetstäbchens kommen. Nach dieser Veränderung wiederholt man die Beobachtung in den eben besprochenen vier Stellungen und erhält so für die gesuchte Ablenkung acht Beobachtungen, aus denen man das Mittel nimmt.

Die Stärke der magnetischen Induction in den Eisenstäben ist von der Temperatur abhängig, außerdem aber nimmt die Inductionsfähigkeit des weichen Eisens, welche unmittelbar nach dem Ausglühen am größten ist, allmälig ab, und diese beiden Umstände machen bei der Berechnung der Inclination Correctionen nöthig, welche nicht unbeachtet bleiben dürfen, wenn es auf große Genauigkeit ankommt. In Beziehung auf diese Correctionen müssen wir auf die von Lamont in seiner »Beschreibung der an der Münchener Sternwarte verwendeten neuen Instrumente und Apparate« gegebene Auseinandersetzung verweisen.

198 **Bestimmung der horizontalen Intensität.** Die Methode, welche man anzuwenden hat, um die horizontale Intensität nach absolutem Maße zu bestimmen, ist bereits im Lehrbuch der Physik besprochen worden. An seinem magnetischen Theodolit hat nun Lamont diejenigen Vorrichtungen angebracht, welche zu einer solchen Bestimmung der Intensität nothwendig sind.

Die Bestimmung der Intensität nach absolutem Maß erfordert zwei gesonderte Beobachtungen, nämlich 1) die Beobachtung der Ablenkung, welche ein Magnetstab an einer Declinationsnadel bewirkt, und 2) die Beobachtung der Schwingungen, welche das Ablenkungsstäbchen unter dem Einfluß des Erdmagnetismus macht.

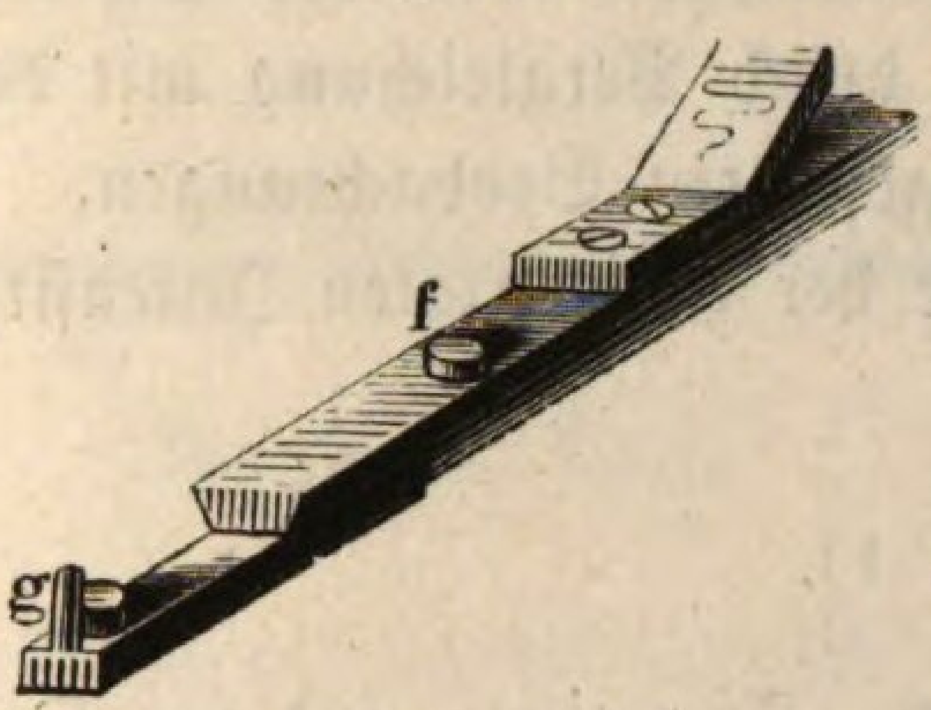
Fig. 250.



Für die Ablenkungsversuche wird an dem magnetischen Theodolit eine Ablenkungsschiene *PP* aufgesetzt, wie man es Fig. 250 sieht, und nachdem das Instrument so eingestellt worden ist, daß die Axe des Fernrohrs normal steht auf der Ebene des Magnetspiegels, und man für

diese Stellung den Nonius abgelesen hat, wird nun der Ablenkungsmagnet an dem einen Ende der Schiene aufgelegt. — Damit er immer genau auf dieselbe Stelle kommt, ist auf der Schiene, wie man Fig. 251 sieht, welche das eine Ende der Schiene in größerem Maßstabe darstellt, ein Knopf *f* und am Ende derselben eine kleine Feder *g* befestigt, welche genau in zwei Löcher des Magnetstäbchens passen.

Fig. 251.



Hat man die dieser Stellung des Magneten entsprechende Ablenkung abgelesen, so wird der Ablenkungsmagnet so umgelegt, daß sein Nordpol dahin kommt, wo eben sein Südpol lag, und umgekehrt, und abermals die nun nach entgegengesetzter Seite gerichtete Ablenkung abgelesen. Ist dies geschehen, so wird der Ablenkungsmagnet auf das entgegengesetzte Ende der Ablenkungsschiene gebracht und für die dort möglichen beiden Stellungen des Ablenkungsmagneten ebenfalls die entsprechende Ablenkung abgelesen. So erhält man für die Ablenkung vier Werthe, aus denen das Mittel genommen und in Rechnung gebracht wird.

Die Gesammtlänge der Ablenkungsschiene beträgt 34, die Länge des Ablenkungsmagneten beträgt 8 Centimeter.

Fig. 252.



Um die Schwingungsversuche zu machen, wird der Ablenkungsmagnet mittelst eines ungedrehten Seidenfadens an einem messingenen Säulchen *s*, Fig. 252, aufgehängt. Um den Magneten vor störenden Luftströmungen zu schützen, wird das Messingsäulchen in ein Holzkästchen *kk* eingesetzt, welches oben mit einer Glasplatte zugedeckt wird. Unsere Figur zeigt die ganze Vorrichtung in $^1/_2$ der natürlichen Größe, und zwar gerade in der Mitte durchgeschnitten. Die Mitte dieser Glasplatte ist durchbohrt, so daß das Messingstäbchen und der die Nadel tragende Faden hindurchgeht. Um den Rand dieser Oeffnung ist ein Schraubengewinde auf-

gekittet, auf welches die Messinghülse h aufgeschraubt wird, durch welche auch der Seidenfaden vor störendem Luftzug geschützt wird.

Eine Combination der Ablenkungs- und Schwingungsversuche zur Berechnung der Intensität nach absolutem Maß wandte jedoch Lamont auf Reisen nie an, sondern er machte entweder nur Ablenkungs- oder nur Schwingungsbeobachtungen und berechnete die Intensität durch Vergleichung mit den entsprechenden in dem Münchner Observatorium angestellten Beobachtungen.

Sind T und v die zusammengehörigen Werthe der horizontalen Intensität und der Ablenkung, so haben wir

$$\frac{M}{T} = r^3 \, tang. \, v \; . \; . \; . \; . \; 1),$$

wenn M die Stärke des Stabmagnetismus bezeichnet. Für einen anderen Ort, dessen horizontale Intensität T' ist, sei die entsprechende durch dasselbe Magnetstäbchen an demselben Instrument bewirkte Ablenkung v', so ist

$$\frac{M}{T'} = r^3 \, tang. \, v' \; . \; . \; . \; . \; 2),$$

und wenn man die Gleichung 2) in die Gleichung 1) dividirt,

$$\frac{T'}{T} = \frac{tang. \, v}{tang. \, v'},$$

oder

$$T' = T \frac{tang. \, v}{tang. \, v'};$$

kennt man also T, v und v', so kann man nach dieser Formel T' berechnen.

So fand man z. B. die zusammengehörigen Werthe von T und v im Jahre 1850 zu München gleich 1,952 und 49° 50′. Mit demselben Reisetheodolit und demselben Magnetstäbchen ergab sich zu Aschaffenburg eine Ablenkung von 51° 50′, die horizontale Intensität T' für Aschaffenburg ist demnach

$$T' = 1{,}952 \, . \, \frac{tang. \; 49^0 \, 50'}{tang. \; 51^0 \, 50'} = 1{,}859.$$

Für die genaue Berechnung der horizontalen Intensität sind nun gleichfalls Correctionen wegen der Temperatur u. s. w. nöthig, welche hier nicht weiter besprochen werden können.

199 **Die magnetischen Constanten verschiedener Orte.** In neuerer Zeit sind nicht allein zahlreiche magnetische Observatorien errichtet, sondern es sind auch durch magnetische Expeditionen die magnetischen Constanten an den verschiedensten Orten der Erde bestimmt worden. In Deutschland ist namentlich Lamont seit 1849 rastlos bemüht, die magnetischen Constanten verschiedener Orte zu ermitteln, und hat die Resultate magnetischer Excursionen in einem eigenen Werke: »Magnetische Ortsbestimmungen, ausgeführt an verschiedenen Punkten des Königreichs Baiern und an einigen anderen Stationen. München 1854,« publicirt.

Die folgende Tabelle enthält die magnetischen Constanten für eine Reihe von Orten, für welche sie am genauesten bestimmt sind. Diese Tabelle ist Lamont's »Astronomie und Erdmagnetismus, Stuttgart 1851,« entnommen, nur sind nach den oben citirten »Magnetischen Ortsbestimmungen« neuere Bestimmungen für ältere Zahlen gesetzt worden.

Namen des Ortes.	Jahr.	Declination.	Inclination.	Horizontale Intensität.
I. Deutschland und dazu gehörige Länder.				
Aschaffenburg	1850	17° 28,6′	66° 43,4′	1,855
Augsburg	1850	16 15,0	65 14,9	1,937
Berlin	1845	16 32,0	67 35,0	1,780
Bregenz	1845	17 20,0	64 56,0	1,950
Carlsruhe	1850	17 30,3	66 8,4	1,891
Darmstadt	1850	17 9,9	66 59,4	1,820
Freiburg	1850	17 39,3	65 28,4	1,934
Göttingen	1845	17 43,0	67 32,0	1,785
Hermannstadt	1845	10 6,0	61 21,0	2,171
Krakau	1845	12 15,0	65 27,0	1,931
Leipzig	1850	15 43,8	67 5,0	1,831
Mailand	1845	17 0,0	63 13,0	2,037
Marburg	1850	17 40,4	67 17,8	1,824
München	1850	16 13,6	65 24,9	1,925
Nürnberg	1850	16 19,5	65 54,8	1,902
Ofen	1845	12 52,0	63 20,0	2,036
Prag	1850	14 38,3	66 52,0	1,892
Speyer	1850	17 35,6	66 20,8	1,881
Venedig	1845	14 4,0	64 22,0	2,036
Wien	1850	13 33,5	64 22,0	1,995
II. Großbritannien, Frankreich, Belgien, Holland.				
Brüssel	1850	20° 40,7′	67° 54,8′	1,771
Dublin	1845	27 0,0	69 41	1,689
Greenwich	1850	22 29,5	68 48,0	1,739
Leiden	1845	20 52,0		1,723
Paris	1850	20 35,8	66 42,2	1,858

Namen des Ortes.	Jahr.	Declination.	Inclination.	Horizontale Intensität.
III. Rußland und die skandinavischen Länder.				
Barnaul	1842	— 8° 25′	70° 7′	2,051
Catharinenburg	1842	— 6 39	69 53	1,838
Christiania	—	+ 19 50	72 7	1,547
Jakutzk	—	+ 5 50	74 18	1,571
Irkutzk	—	— 1 38	68 14	2,134
Kasan	1842	— 3 24	68 22	1,877
Moskau	—	+ 3 2	68 57	1,762
Nertschinsk	1842	+ 3 44	67 8	2,206
Petersburg	1842	+ 6 21	71 0	1,658
Reikiawig	—	+ 43 14	77 0	. . .
Spitzbergen	—	+ 25 12	81 11	0,836
Tiflis	1845	+ 1 52		2,554
IV. Südeuropa.				
Gibraltar	1840	21° 40′	59° 40′	2,289
Palermo	1835	16 3	57 16	2,435
V. Afrika.				
Algier	1842	18° 35′	+ 57° 21′	2,373
Cap der guten Hoffnung .	1842	29 13	— 53 20	2,115
St. Helena	1842	23 32	— 21 52	2,734
Port Louis (Mauritius) .	1845	9 44	— 53 56	2,377
VI. Südasiatische Länder.				
Bombay	1845	. . . .	+ 18° 12′	3,631
Macao	1841	— 0 35	+ 30 1	3,428
Madras	1837	. . . .	+ 6 52	3,577
Manilla	1840	— 0 18	+ 16 27	3,709
Peking		+ 1 48	+ 54 49	2,925
Singapore	1841	— 1 39	— 12 1	3,671

Namen des Ortes.	Jahr.	Declination.	Inclination.	Horizontale Intensität.
VII. Nordamerika.				
Acapulco	1838	— 8° 23′	+ 37° 57′	3,672
Albany	1840	+ 6 58	74 48	1,658
Buffalo-See	1837	+ 1 25	74 38	. . .
Cambridge	1840	+ 9 12	74 19	. . .
Cincinnati	1840	— 4 46	70 27	2,095
Fort Vancouver . . .	1839	— 19 22	69 22	2,040
Hudson	1840	— 1 52	72 48	. . .
Mont-Real	1835	+ 9 50	77 9	1,389
New-York	1840	+ 5 34	72 39	. . .
Port Etches	1837	— 31 38	76 3	. . .
Santa Barbara . . .	1839	— 13 28	58 54	. . .
San Francisco	1838	— 15 20	62 0	2,526
Sitka	1845	— 28 53	75 51	1,466
St. Louis	1835	— 8 49	69 28	. . .
Washington	1842	+ 1 24	71 14	2,007
VIII. Südamerika.				
Bahia	—	+ 4° 18′	+ 5° 24′	3,036
Callao	1838	— 10 44	— 6 14	3,403
Chiloe	—	— 18 0	— 49 26	2,975
Gallopagos-Insel . . .	1839	— 9 30	+ 9 29	. . .
Monte-Video	—	— 12 0	— 35 40	3,009
Panama	1837	— 7 2	+ 31 52	3,575
Pernambuco	—	+ 5 54	+ 13 13	. . .
Rio-Janeiro	—	— 2 8	— 13 30	. . .
Valparaiso	—	— 15 18	— 39 7	. . .
IX. Australien.				
Aukland-Insel	1841	— 15° 29′	— 73° 10′	1,893
Bai of Islands (Neu Seeland)	1842	— 13 36	— 59 32	. . .
Hobartown	1846	— 9 55	— 70 36	2,070
King George's Sound .	1845	— 5 33	— 65 4	. . .
Point Venus (Otaheiti) .	1840	— 6 30	— 30 18	3,417
Port Louis (Falklands Inseln)	1842	— 17 36	— 52 26	. . .
Sydney	1842	— 9 51	— 62 49	2,712

In dieser Tabelle bezeichnet — eine östliche Declination und eine südliche Inclination, das Zeichen + dagegen oder kein Vorzeichen westliche Declination und nördliche Inclination.

200 **Magnetische Curven.** So wie durch die Isothermen die Vertheilung der Wärme auf der Erdoberfläche anschaulich gemacht wird, so lassen sich auch die magnetischen Verhältnisse durch entsprechende Curvensysteme darstellen. Die Wirkung, welche der Erdmagnetismus an irgend einem Orte der Erde ausübt, ist durch Declination, Inclination und Intensität bestimmt, und dem entsprechend hat man auf Karten drei verschiedene Systeme magnetischer Curven aufgetragen, welche man die isogonischen, die isoklinischen und die isodynamischen genannt hat.

Die isogonischen Linien sind diejenigen, für welche in allen Punkten die Declination dieselbe ist; solche Karten, in welche man die isogonischen Linien aufgetragen hat, nennt man Declinationskarten. Die erste Karte der Art hatte Halley im Jahre 1700 construirt. Da die Elemente des Erdmagnetismus fortwährend sich ändern, so kann eine solche Karte den Lauf der isogonischen Linien nur für eine bestimmte Zeit angeben; in der That weicht die von Hansteen für das Jahr 1780 entworfene Declinationskarte schon sehr bedeutend von der Halley'schen ab, und jetzt ist natürlich der Lauf der isogonischen Linien nicht mehr derselbe, wie er im Jahre 1780 war. Die neuesten Declinationskarten sind von Adolph Ermann und Barlow entworfen. Ermann hat die isogonischen Linien nach den in den Jahren 1827 bis 1830 beobachteten Werthen der Declination construirt; Barlow's Karte ist für das Jahr 1833 entworfen.

Die Karten Fig. 253, 254 und 255 (a. f. S.) stellen die isogonischen Linien dar, wie sich ihr Lauf aus den nach der Gauß'schen Theorie des Erdmagnetismus, von der alsbald die Rede sein wird, berechneten Werthen der Declination ergiebt, und zwar für den Erdgürtel zwischen dem 80. Grade nördlicher und dem 60. Grade südlicher Breite in Aequatorial-Projection, für die Umgebungen der Pole aber, in Polarprojection dargestellt, wie dies auch bei den folgenden Inclinations- und Intensitätskarten der Fall ist.

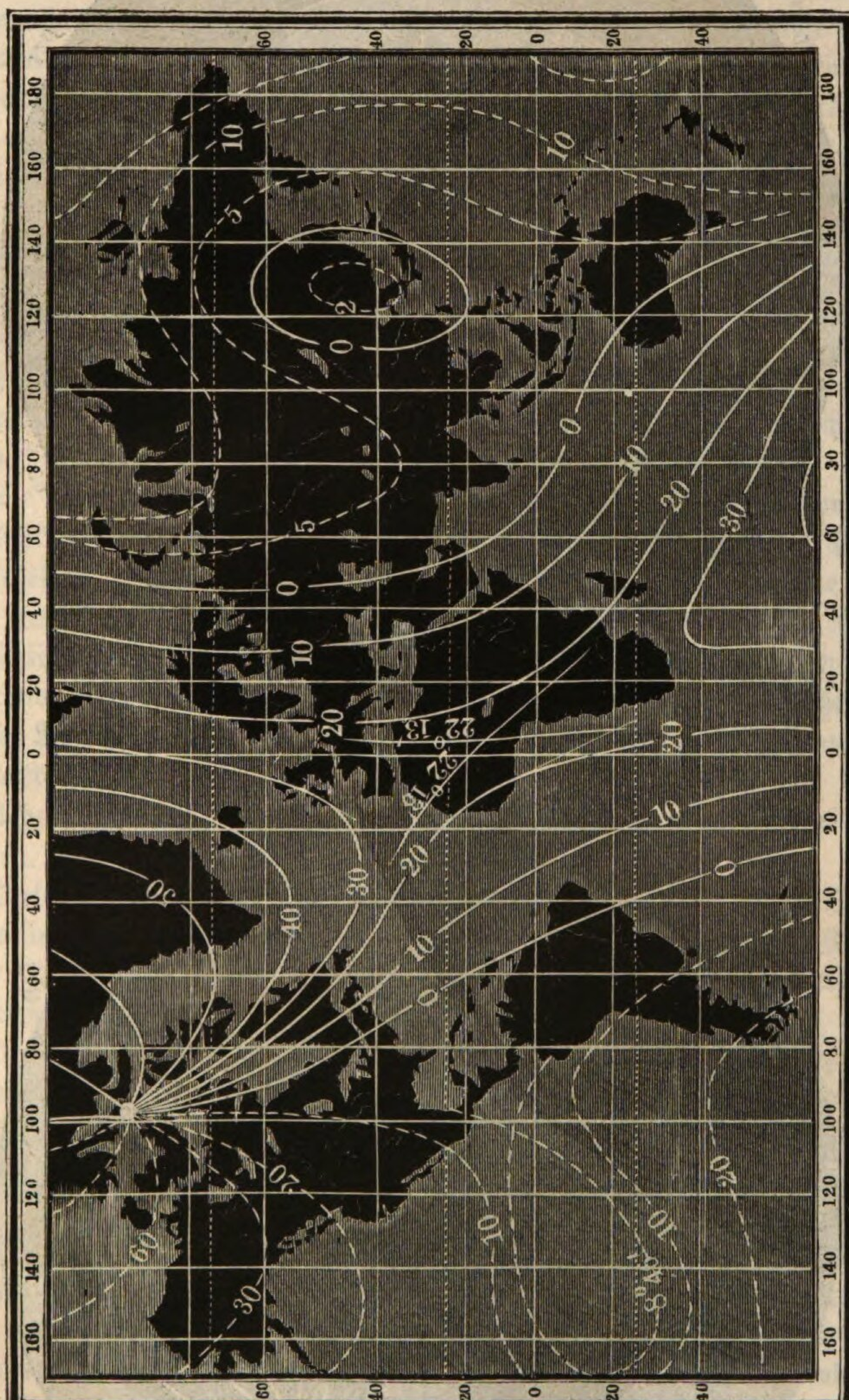
Eine Linie ohne Abweichung, d. h. eine solche Linie, auf welcher überall die Richtung der horizontalen Magnetnadeln mit der Richtung des astronomischen Meridians zusammenfällt, schneidet die östliche Spitze von Südamerika ab, läuft östlich von Westindien durch den atlantischen Ocean, um in der Gegend von Philadelphia in den Continent von Nordamerika einzutreten und durch die Hudsonsbai hindurch zu laufen; dann passirt diese Linie ohne Abweichung den magnetischen und den astronomischen Nordpol der Erde, tritt östlich vom weißen Meere in den Continent der alten Welt ein, geht durch das caspische Meer, schneidet die Ostspitze von Arabien ab, wendet sich dann nach Neuholland, um endlich durch den magnetischen und astronomischen Südpol der Erde in sich selbst zurückzulaufen.

In der Karte Fig. 253 erscheinen zwei Stücke dieser Linie getrennt von einander; die Verbindungsstücke dieser beiden Theile kann man auf den Karten Fig. 254 und 255 verfolgen.

Diese Linie ohne Abweichung, welche um die ganze Erde herumläuft, theilt

die Erdoberfläche in zwei Theile; auf der einen Hälfte, nämlich auf dem atlantischen Ocean, in Europa und Afrika, ist die Abweichung der Magnetnadel überall eine westliche; auf der anderen Hälfte ist die Abweichung östlich, mit Ausnahme einer kleinen Strecke im östlichen Asien und dem angränzenden Meere,

Fig. 253.



denn hier findet sich eine zweite in sich selbst zurücklaufende Linie, für welche die Abweichung Null ist, und innerhalb des durch diese Curve eingeschlossenen Raumes ist die Abweichung wieder westlich.

Fig. 254.

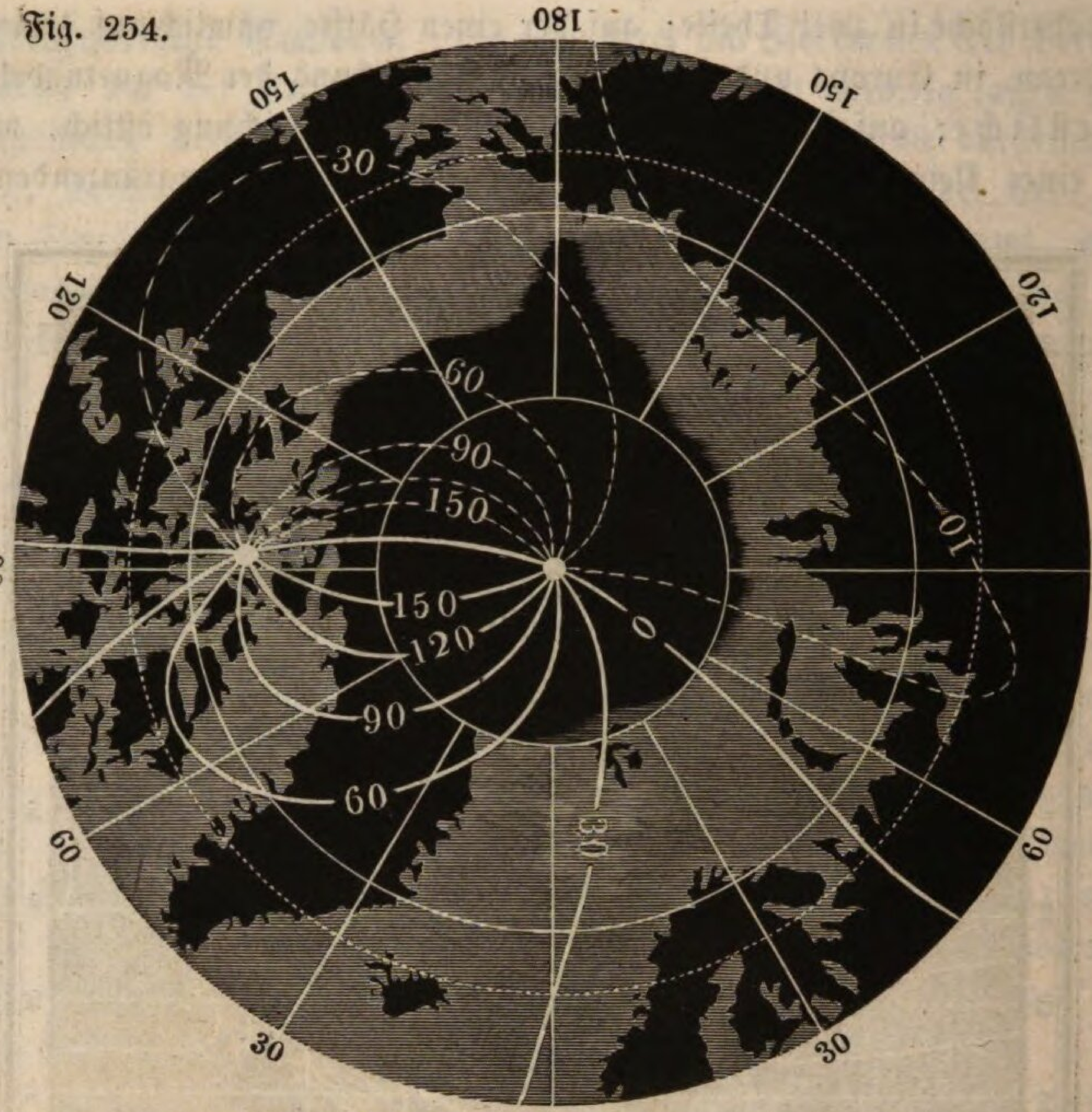
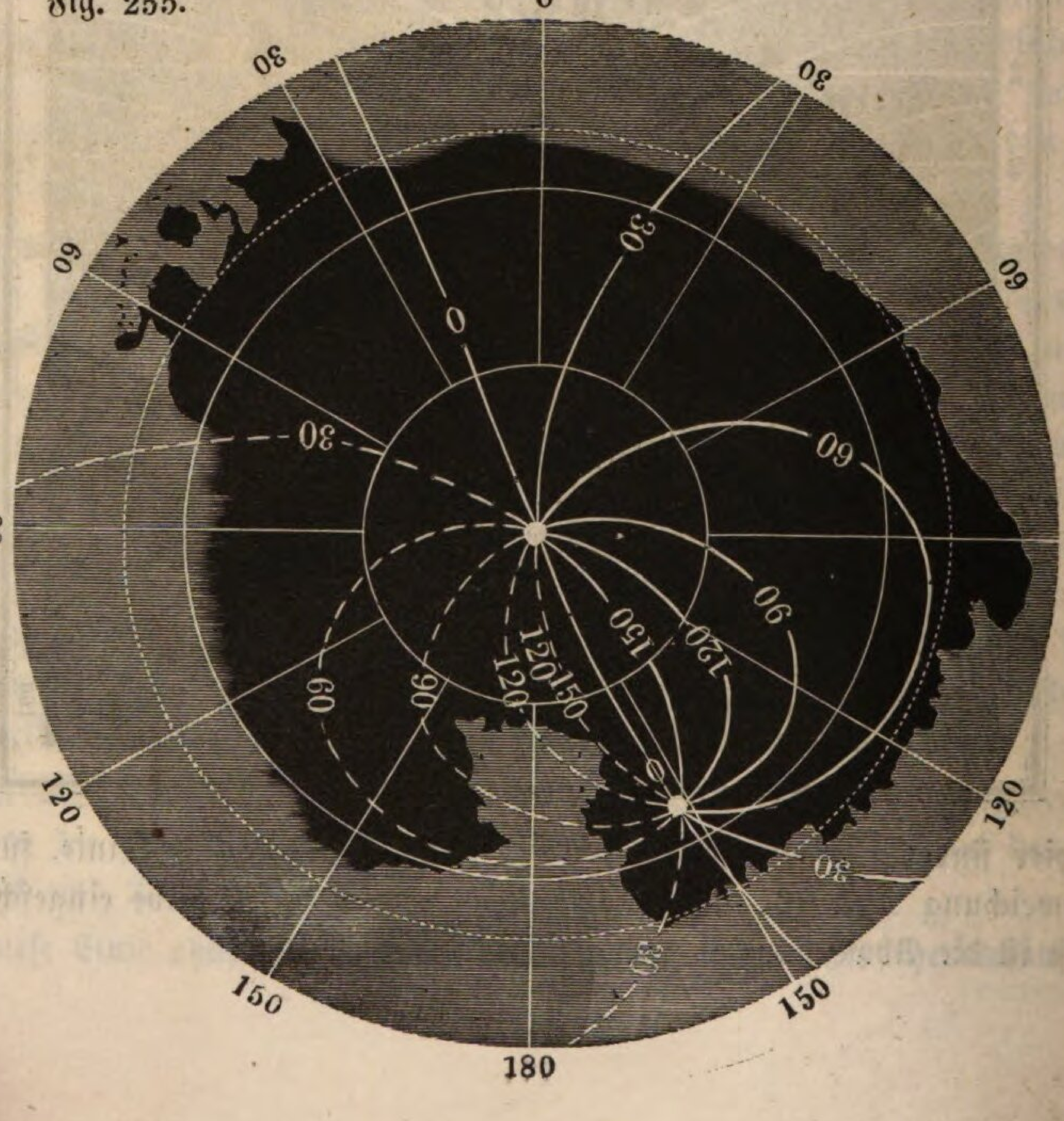


Fig. 255.



In unseren Karten sind alle Curven östlicher Abweichung punktirt; die Größe der Declination, welche einer jeden Curve entspricht, ist stets beigeschrieben.

In der Nähe der Pole bilden die isogonischen Linien ein ziemlich complicirtes System, indem sie in zwei Punkten, nämlich in dem magnetischen und in dem astronomischen Pole, zusammenlaufen; dies rührt jedoch nicht daher, daß die magnetischen Erscheinungen in jenen Gegenden so complicirt sind, sondern nur daher, daß bei der Bestimmung der Declination ein dem Magnetismus selbst eigentlich ganz fremdes Element, nämlich die Richtung des astronomischen Meridians, in Betrachtung zu ziehen ist; durch diese Einmischung geht die Einfachheit verloren. Der magnetische Pol, in welchem alle isogonischen Linien zusammenlaufen, ist allerdings ein magnetisch ausgezeichneter Punkt; denn denken wir uns ganz in der Nähe dieses Pols um denselben einen Kreis gezogen, so wird für alle Punkte dieses Kreises die horizontale Magnetnadel nach diesem Pole hin gerichtet sein; der Nordpol und der Südpol der Erde sind aber durchaus keine magnetisch ausgezeichneten Punkte, obgleich die isogonischen Linien sich in diesen Polen schneiden; sehen wir nun, woher dies kommt. Auf dem Nordpole selbst fällt die Richtung der horizontalen Magnetnadel sehr nahe mit der Richtung des 60. Längengrades zusammen; in der Nähe dieses Pols rings um denselben herum wird nun die Magnetnadel fast ganz dieselbe Richtung haben, rings um den Pol herumgehend wird man aber deshalb der Reihe nach alle möglichen Werthe der Declination finden, weil alle Mittagslinien nach dem Pole convergiren; eine und dieselbe Richtung der Magnetnadel macht also verschiedene Winkel mit den von allen Seiten her nach dem Pole zusammenlaufenden Meridianen.

Aehnliche Verwickelungen werden wir bei den folgenden Karten nicht wiederfinden.

Diese scheinbare Verwickelung verschwindet auch, wenn man zur Darstellung der Declinationsverhältnisse der Erdoberfläche ein anderes Curvensystem wählt, wie es Duperrey bei der Construction seiner magnetischen Meridiane und Parallelen gethan hat.

Denken wir uns, daß man von irgend einem Orte ausgehend in der Richtung reiste, nach welcher das Nordende der Magnetnadel hinweist, und daß man dann stets der Richtung der Declination folgt, so wird der Weg, den man zurücklegt, ein magnetischer Erdmeridian sein. Von Brüssel ausgehend, würde man auf diese Weise östlich von England, Schottland und Island vorbeikommen und durch Grönland nach Boothia Felix gelangen. Von St. Helena ausgehend käme man auf diese Weise nach dem grünen Vorgebirge, über die canarischen Inseln und die Azoren an der Südspitze von Grönland vorbei, endlich ebenfalls, nach Boothia Felix, wie man dies leicht auf der Karte Tab. XXIV. verfolgen kann auf welche eine Reihe von magnetischer Erdmeridiane nach Duperrey aufgetragen sind, dessen Karten die magnetischen Meridiane für 1836 darstellen.

Tab. XXV. enthält die magnetischen Meridiane für die Umgebungen des Nordpols, Tab. XXVI. für die Umgebungen des Südpols.

In diese Karten sind außerdem noch die Linien ohne Ablenkung nach den Gauß-Weber'schen Karten eingetragen, und diejenigen Gegenden blau angelegt, an welchen die Declination eine westliche ist.

Die magnetischen Meridiane geben unmittelbar die Richtung der Declinationsnadel für diejenigen Orte an, durch welche sie laufen. So sehen wir aus dem Laufe der entsprechenden Curve, daß zu Brüssel die Declination eine westliche ist, daß ungefähr unter dem 96. Grade nördlicher Breite an den Westküsten von Grönland die Nadel gerade nach Westen zeigt, und daß in Port Bowen dasselbe Ende der Declinationsnadel, welches wir das Nordende nennen, nach Südwesten, daß es auf der Melville-Insel nach Südosten gerichtet ist.

Alle magnetischen Erdmeridiane laufen in dem magnetischen Nordpole, und dann wieder in dem magnetischen Südpole der Erde zusammen.

Solche Curven, welche das System der magnetischen Meridiane stets rechtwinklig durchschneiden, nennt Duperrey magnetische Parallele. In unseren Karten finden sich auch einige derselben eingetragen.

Die Linien ohne Abweichung laufen natürlich durch die nördlichen und durch die südlichen Wendepunkte der magnetischen Parallele, und durch die östlichen und westlichen Wendepunkte der magnetischen Meridiane.

Die Karten Fig. 256, 257 und 258 (a. f. S.) stellen den Lauf der isoklinischen Linien dar. Die isoklinischen Linien verändern sich im Laufe der Zeit wie die isogonischen. Die erste Inclinationskarte wurde im Jahre 1780 von Hansteen construirt; der jetzige Lauf der isoclinischen Linien weicht schon bedeutend von der damaligen Lage dieser Linien ab.

Die Linie auf der Erdoberfläche, für welche die Inclination gleich 0 ist, auf welcher also die Inclinationsnadel wagerecht steht, ist der magnetische Aequator. Nördlich vom magnetischen Aequator ist das Nordende, südlich von demselben ist das Südende der Inclinationsnadel nach unten gerichtet.

Die magnetischen Pole der Erde sind diejenigen Stellen der Erdoberfläche, auf welchen die Inclinationsnadel vertical steht, wo also der horizontale Antheil der magnetischen Erdkraft ganz verschwindet. Solcher magnetischen Pole giebt es zwei auf der Erdoberfläche, nämlich einen nördlichen und einen südlichen. Nach der Gauß'schen Theorie liegt der nördliche magnetische Pol 3° 30′ nördlich von dem Orte, wo ihn der Capitain Roß fand; beim südlichen magnetischen Pole wird man, wie Gauß bemerkt, wohl noch eine bedeutend größere Verschiebung zu erwarten haben.

Man kann sich über diese Differenzen zwischen der Rechnung und der Beobachtung nicht wundern, wenn man bedenkt, daß die Data, welche Gauß zur Ausführung seiner Theorie zu Grunde legen konnte, selbst mehr oder weniger ungenau sind, daß die Angaben verschiedener Beobachter für einen und denselben Ort oft zu bedeutend differiren, als daß man annehmen könnte, diese Unterschiede seien den Veränderungen der erdmagnetischen Kraft im Laufe der wenigen Jahre zuzuschreiben, welche zwischen den Beobachtungszeiten beider liegen.

Die Größe der entsprechenden Inclination ist jeder Curve unserer Figuren beigeschrieben. Die mit 90 bezeichneten Punkte in Fig. 257 und 258 sind

die magnetischen Pole; es sind dies dieselben Punkte, in welchen die Declinationscurven in Fig. 254 und 255 zusammenlaufen.

Die beiden magnetischen Pole der Erde liegen einander nicht diametral gegenüber, d. h. eine die beiden Pole verbindende gerade Linie geht nicht durch

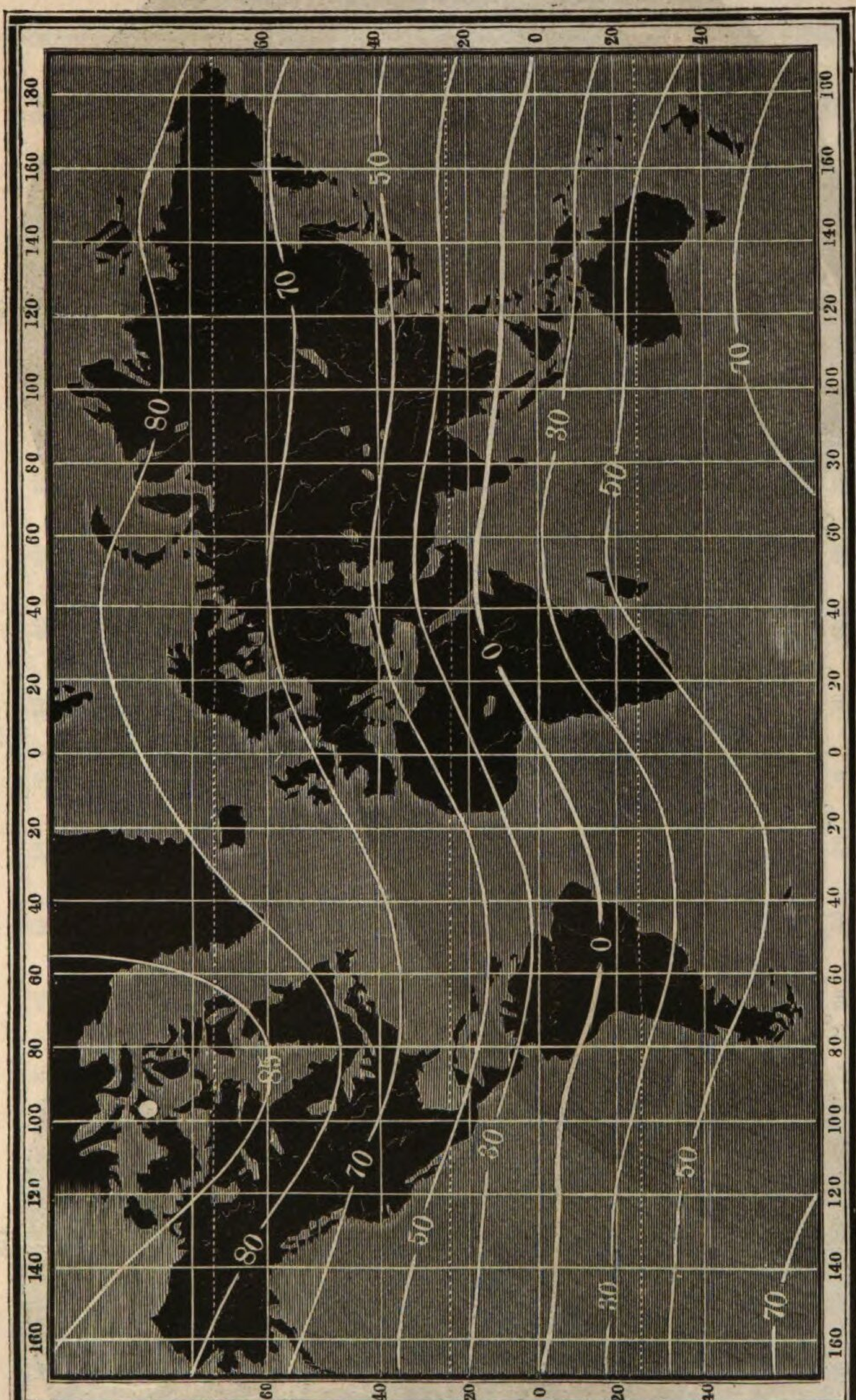


Fig. 256.

den Mittelpunkt der Erde, sondern diese Linie bildet eine Sehne, welche von dem durch die beiden Pole gelegten größten Kreise einen Bogen von 161° 13′ abschneidet.

Fig. 257.

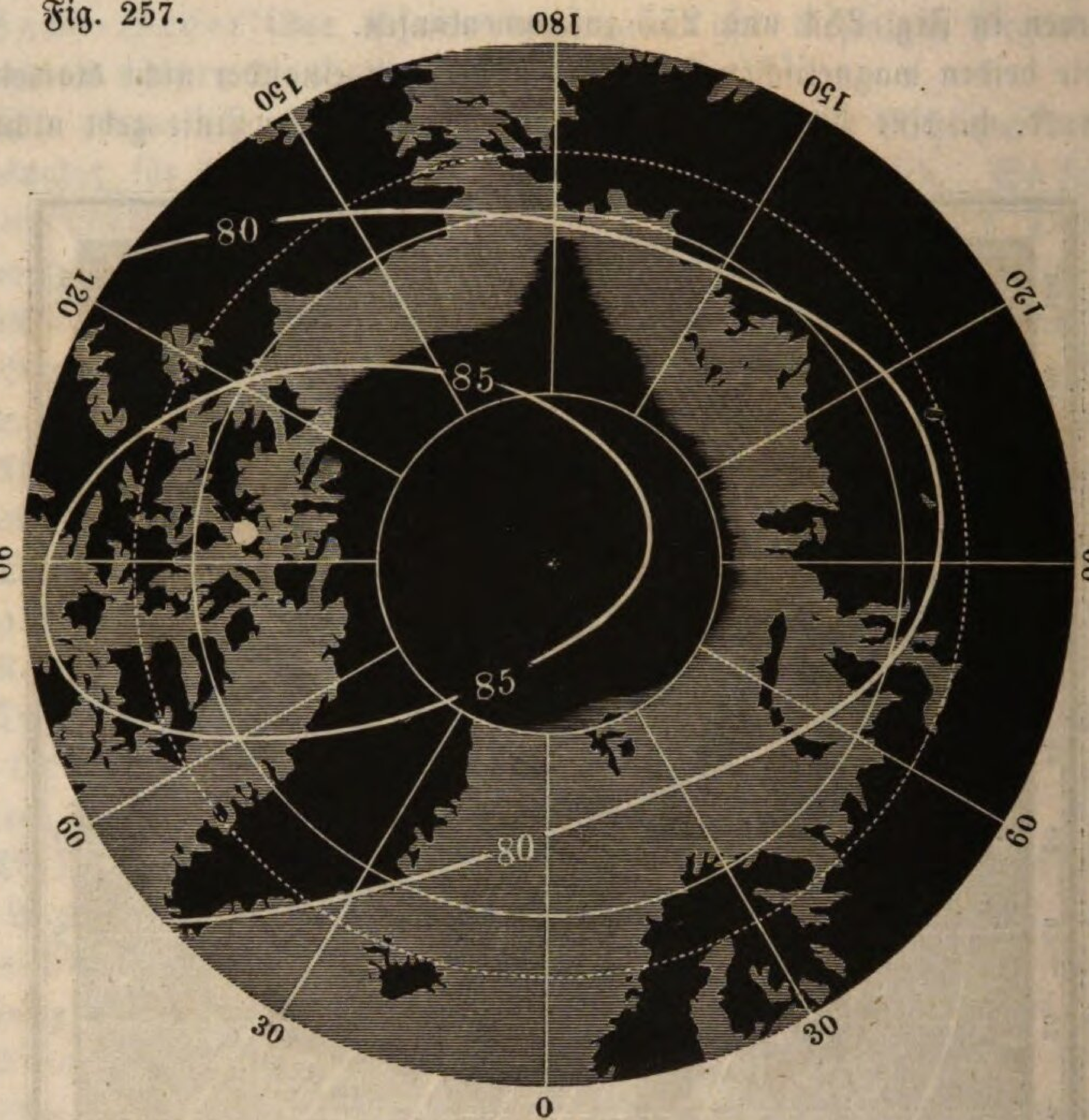
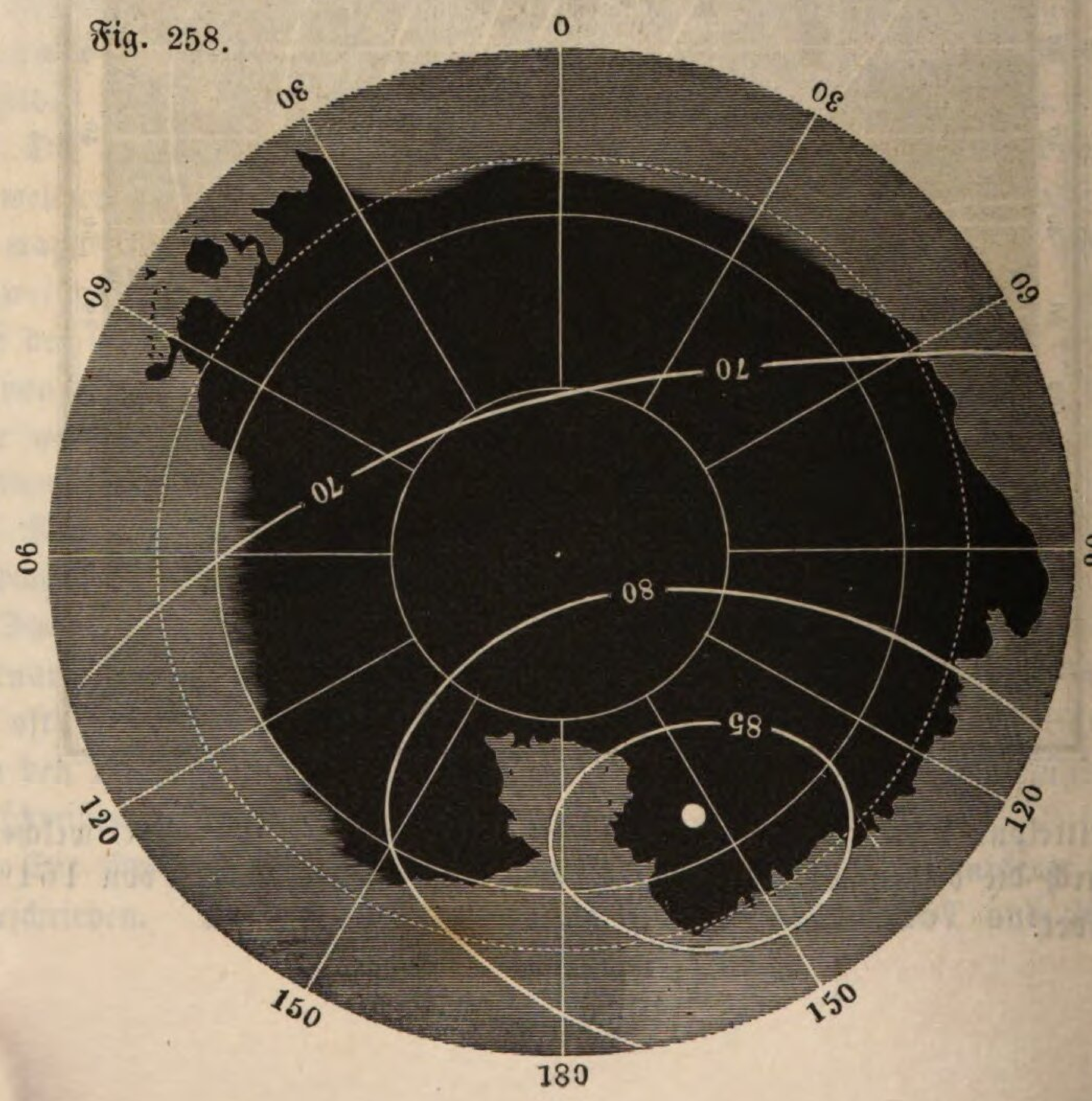


Fig. 258.



In den Karten Fig. 259, 260 und 261 sind die isodynamischen Linien nach den berechneten Werthen der ganzen Intensität aufgetragen. Man sieht, daß es auf der nördlichen Halbkugel zwei Orte giebt, an welchen die Intensität ein Maximum, d. h. größer ist als in allen rund herum gelegenen Orten;

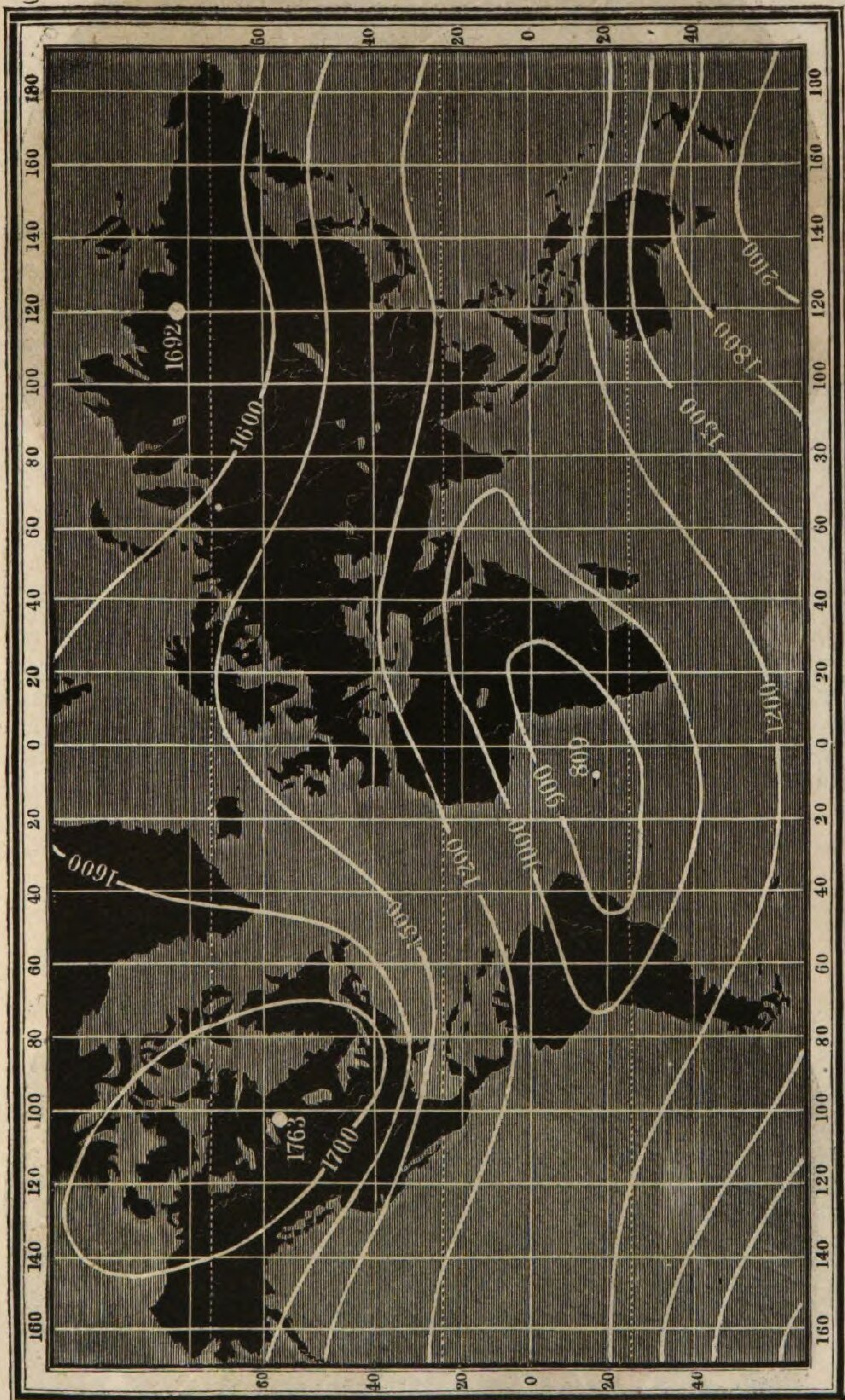


Fig. 259.

ein solches Maximum der Intensität findet sich in Nordamerika etwas westlich von der Hudsonsbai, Fig. 259, ein zweites im nördlichen Asien, Fig. 260. Dieser Umstand hat einige Gelehrte veranlaßt, die Existenz von zwei magne-

Fig. 260.

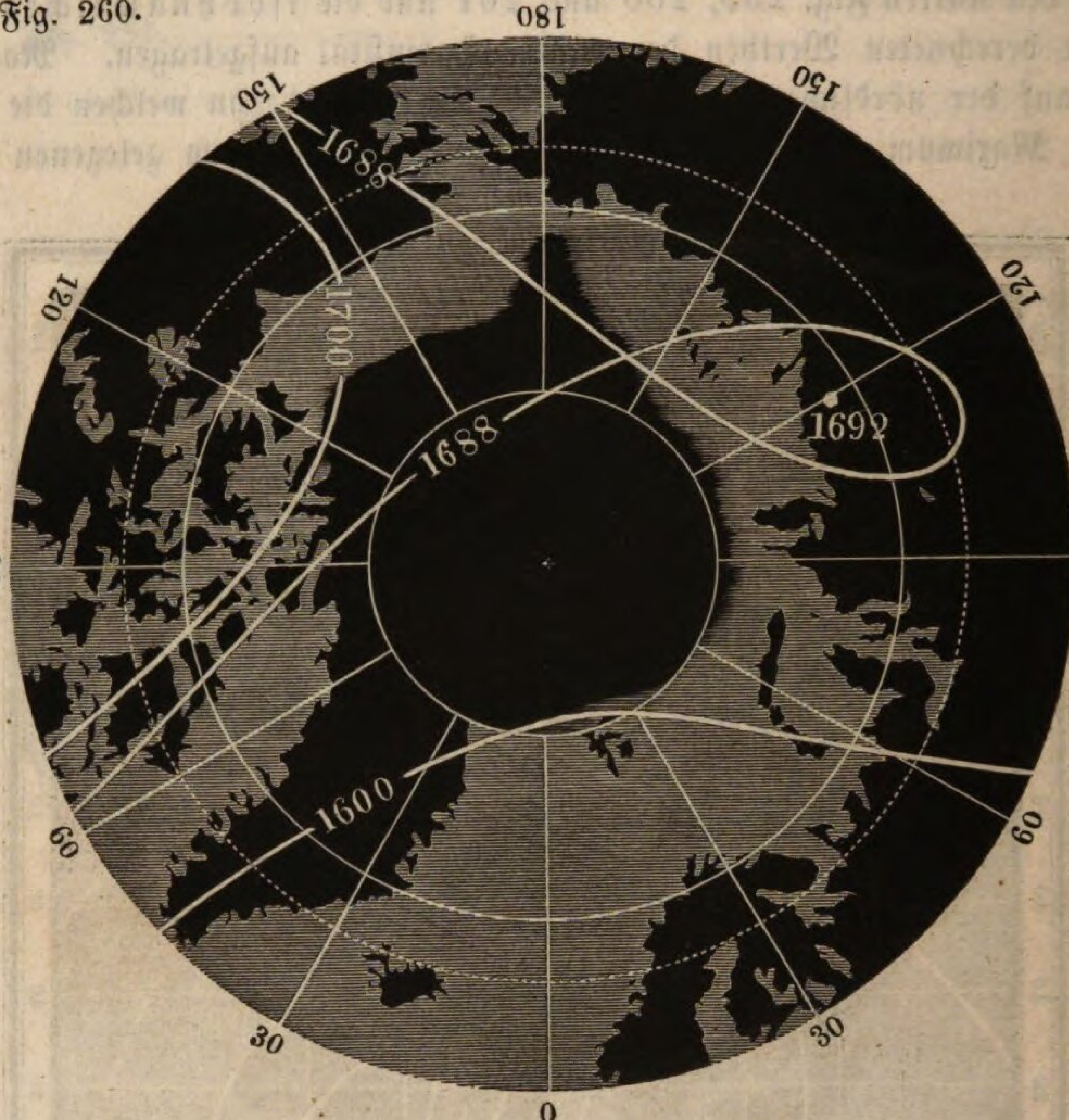
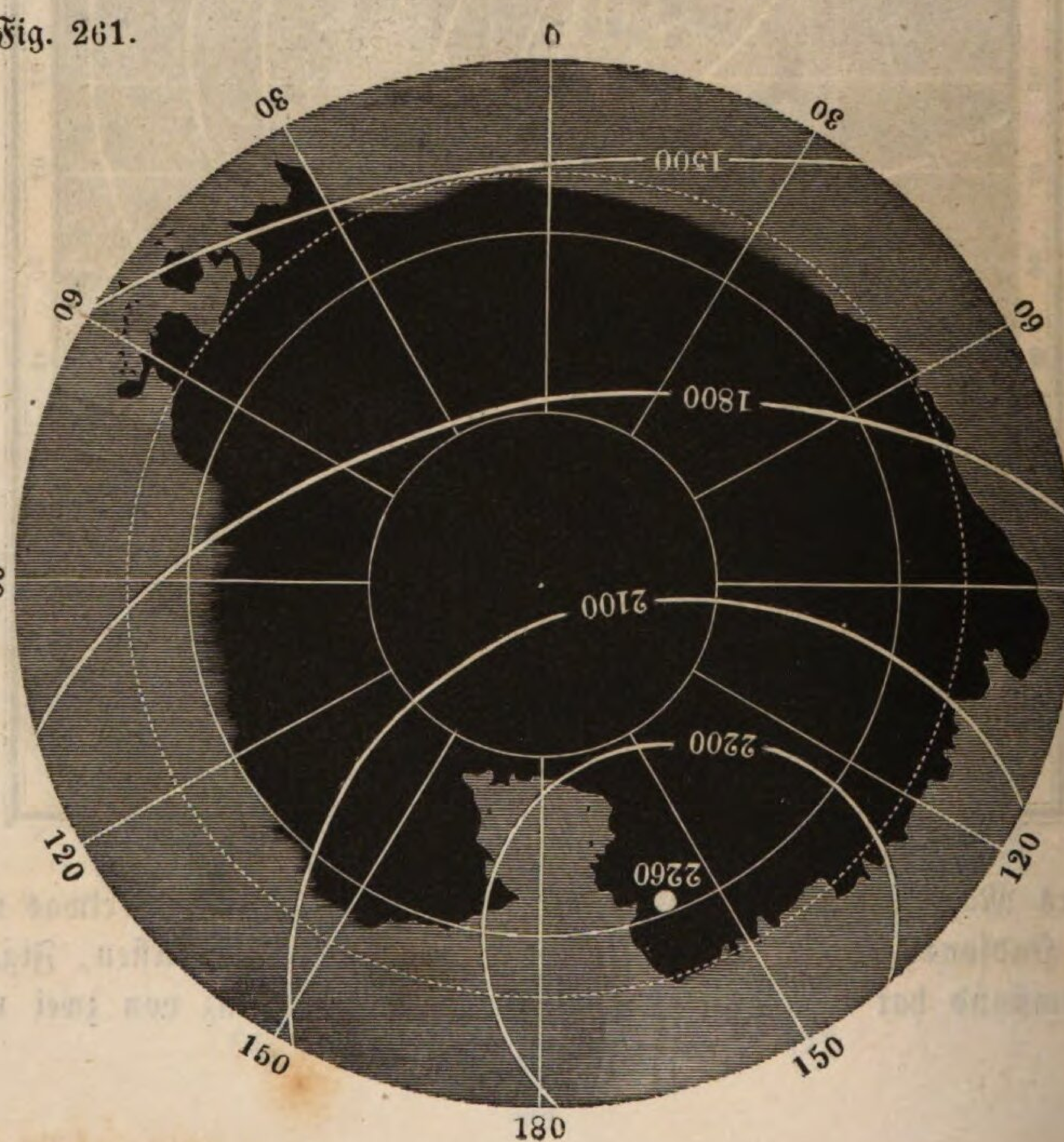


Fig. 261.



tischen Polen auf der nördlichen Halbkugel anzunehmen; um zu entscheiden, ob dies wirklich der Fall ist, muß man vor allen Dingen feststellen, was man unter einem magnetischen Pole der Erde versteht. Gewöhnlich nennt man, wie wir es auch gethan haben, diejenigen Orte der Erdoberfläche magnetische Pole, an welchen der horizontale Theil der Erdkraft verschwindet; man könnte aber unter einem magnetischen Pole auch eine solche Stelle verstehen, für welche die Intensität des Magnetismus ein Maximum ist. Diese beiden Begriffe sind aber nun durchaus nicht identisch, es kann an einem Orte die horizontale Componsante des Erdmagnetismus verschwinden, die Inclinationsnadel kann sich vertical stellen, ohne daß deshalb hier auch ein Maximum der Intensität zu finden ist; umgekehrt kann an einem Orte die Intensität des Erdmagnetismus sehr wohl ein Maximum sein, ohne daß sich die Inclinationsnadel vertical stellt.

Nimmt man das Wort Pol im gewöhnlichen Sinne, so giebt es nur einen magnetischen Nordpol. An diesem Pole ist die Intensität des Erdmagnetimus kein Maximum; an den beiden Orten aber, für welche die Intensität ein Maximum ist, stellt sich die Inclinationsnadel nicht vertical, diese Orte sind also nach unserer Begriffsbestimmung keine magnetischen Pole.

Die den isodynamischen Linien beigeschriebenen Zahlen geben den Werth der Intensität nicht nach dem schon im ersten Theile besprochenen absoluten Maße, sondern nach der bisher üblichen willkürlichen Einheit an, nach welcher die Intensität für London 1,372 ist; nur sind diese Zahlen, um Brüche zu vermeiden, noch mit 1000 multiplicirt. Um die Zahlen unserer Karte auf das absolute Maß zu reduciren, sind sie nur mit 0,0034941 zu multipliciren.

Lamont's magnetische Karten. Die eben besprochenen Karten stellen den magnetischen Zustand der Erde um das Jahr 1830 dar; jetzt, also mehr als zwanzig Jahre später, hat sich der Lauf der magnetischen Curven schon merklich geändert, und zwar ist diese Aenderung für die Declination am merklichsten, denn sie ist in Deutschland gegenwärtig gegen 4° kleiner als nach den eben besprochenen Karten. 201

Seit Gauß und Weber ihren Atlas des Erdmagnetismus veröffentlicht haben, sind keine neueren magnetischen Erdkarten erschienen. Dagegen hat Lamont auf neuere genaue Bestimmungen gegründete Declinations-, Inclinations- und Intensitätskarten von Deutschland und auf seine eigenen zahlreichen Messungen basirte magnetische Karten von Baiern und dem südwestlichen Deutschland publicirt (Magnetische Karten von Deutschland und Bairen von Lamont, München 1854).

In Fig. 262 ist die Lamont'sche Declinationskarte von Deutschland in kleinerem Maßstabe wiedergegeben. Die durch München gehende, oben und unten mit 0 bezeichnete Curve verbindet alle Orte, welche mit München gleiche Declination haben. Die nach Westen hin zunächst liegende mit + 1° bezeichnete geht über diejenigen Orte, deren westliche Declination um 1° größer ist als die Declination von München; eben so entsprechen die mit + 2°, + 3° u. s. w. bezeichneten Curven einer um 2 Grad, 3 Grad größeren u. s. w., und

Fig. 262.

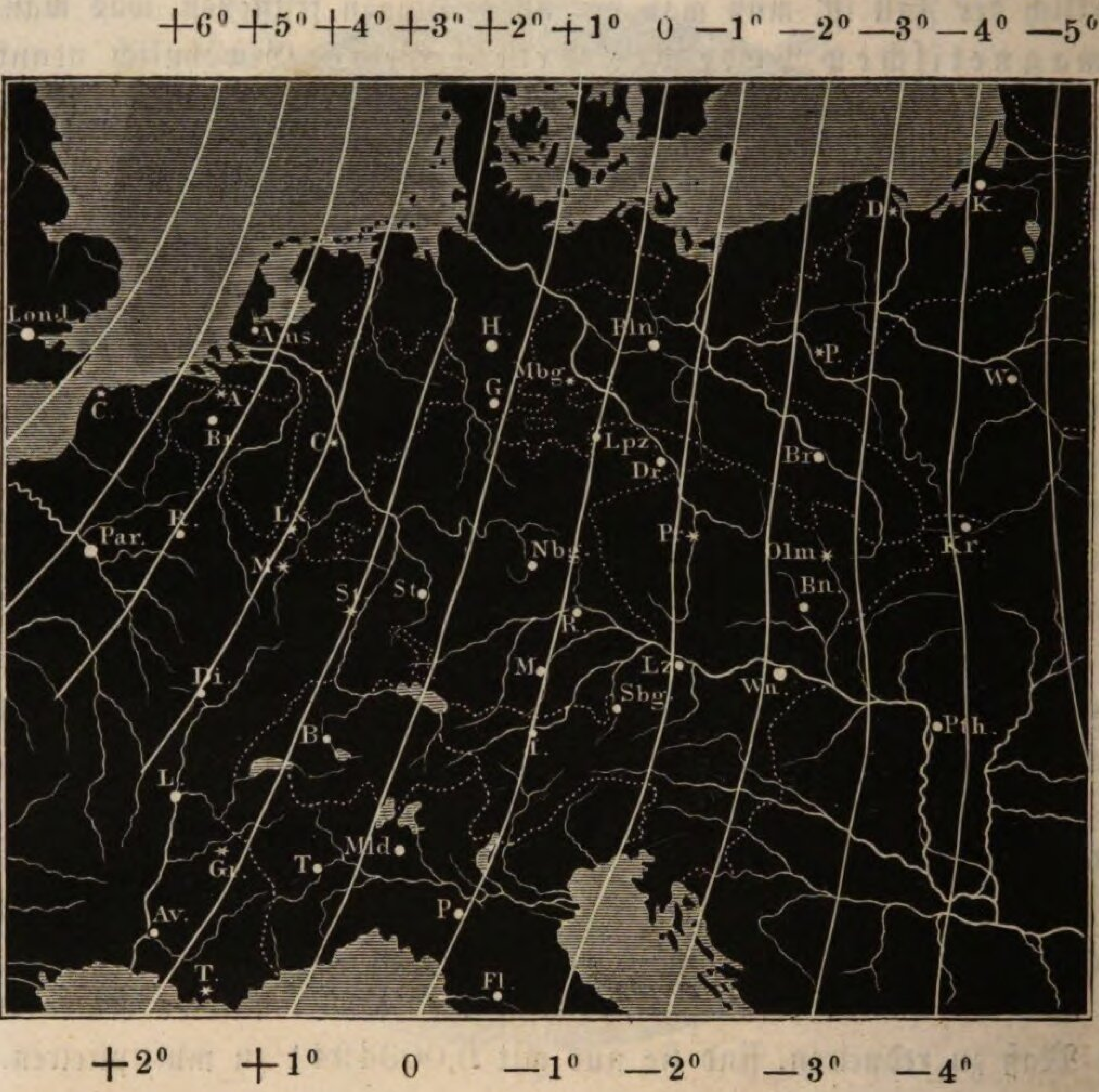
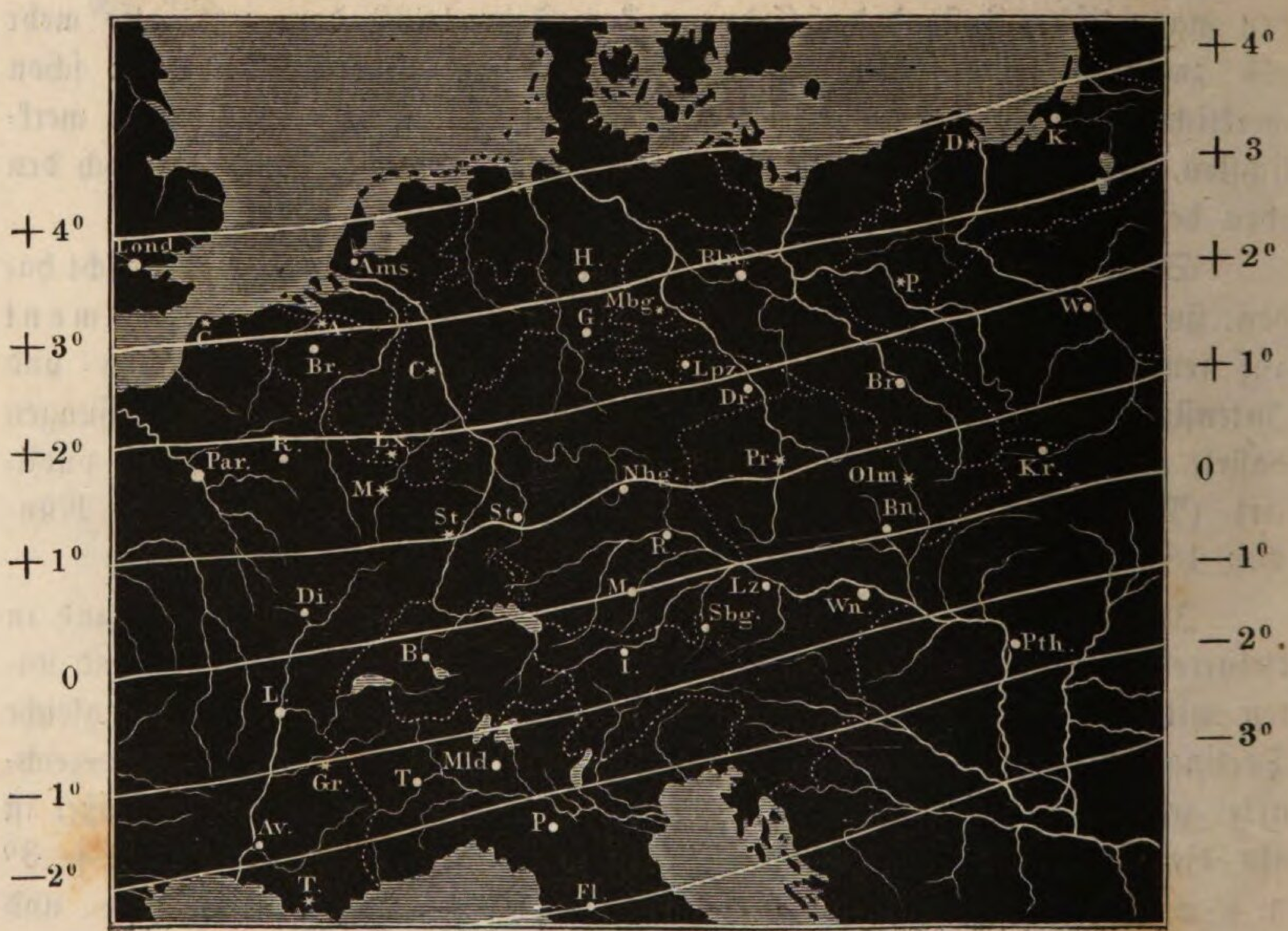


Fig. 263.



die mit — 1°, mit — 2°, — 3° u. s. w. bezeichneten einer um 1, 2 und 3 Grad geringeren Declination.

Im Jahre 1852 betrug die Declination für München 15° 40′. Für dasselbe Jahr beträgt also die Declination für Luxemburg 18° 40′. Für Wien ist der Karte zufolge die Declination ungefähr 2° 20′ kleiner als zu München, sie ist also für Wien im Jahre 1852 gleich 13° 20′ u. s. w.

Aehnlich ist die Einrichtung der Karte Fig. 262, welche die isoklinischen Linien enthält. Für die mit + 1°, + 2°, + 3° bezeichneten Curven dieser Karte ist die Inclination um 1, 2, 3° größer, für die mit — 1°, — 2°, —3° bezeichneten aber ist sie um 1, 2, 3 Grad kleiner als die Inclination zu München, welche im Jahre 1852 64° 54′ betrug.

Dieser Karte zufolge ist also die Inclination für 1852 für Stralsund ungefähr 68° 54′. Für Breslau ist sie nahe $1^1/_2$ Grad größer, für Mailand ist sie etwas mehr als $1^1/_2$ Grad kleiner als für München.

Die dritte Karte endlich, Fig. 264, enthält die Curven gleicher horizontaler Intensität. Die durch München gehende Curve, ist auch hier mit 0 be-

Fig. 264.



zeichnet; auf den übrigen Curven ist die nach absolutem Maß gemessene horizontale Intensität um den am Rande angegebenen Werth größer oder kleiner als zu München. Die horizontale Intensität ist also zu Paris, Frankfurt und Warschau um 0,10, zu Triest ist sie um 0,125 größer als zu München, wo sie im Jahre 1852 den Werth 1,9508 hatte.

Ganz ähnlich ist nun auch die Einrichtung der von Lamont bearbeiteten magnetischen Karten von Baiern und dem südwestlichen Deutschland, jedoch beträgt die Declinationsdifferenz je zweier auf einander folgenden Declinationscurven 10′. Ebenso entsprechen die Intervalle der Inclinationskarte von Baiern einer Inclinationsänderung von 10 Minuten Auf den Intensitätskarten von Baiern entspricht der Intervall je zweier auf einander folgenden Curven einer Aenderung der absolut horizontalen Intensität von 0,01.

Bei einem solchen Maßstab treten dann auch locale Störungen deutlich hervor. Während z. B. im Durchschnitt der Abstand je zweier benachbarter Declinationscurven ungefähr 4 Meilen beträgt, rücken etwas westlich von Karlsruhe die Curven + 1° 50′ und + 2° bis auf 1 Meile zusammen; dagegen rücken die Declinationscurven + 1° 30′ und 1° 40′ bei Darmstadt, welches zwischen denselben liegt, bis auf 8 Meilen auseinander. Eine ähnliche Erweiterung zeigt sich zwischen Bamberg und Baireuth, und eine noch bedeutendere zwischen Salzburg und dem westlichen Ende des Chiemsees.

Die Inclinations- und Intensitätscurven zeigen die größten Unregelmäßigkeiten in der baierischen Pfalz, namentlich in der Nähe von Pirmasenz.

Es wäre in der That sehr zu wünschen, daß Lamont's Beispiel in anderen Ländern Nachahmung fände; solche magnetische Specialkarten würden die sichersten Anhaltspunkte zur Construction magnetischer Erdkarten geben, wie sie denn überhaupt ein reichliches Material für fernere Untersuchungen über Erdmagnetismus bieten.

202 **Theorie des Erdmagnetismus.** Die einfachste und älteste Hypothese, welche zur Erklärung der Erscheinungen des Erdmagnetismus aufgestellt wurde, ist die, einen kleinen Magneten im Mittelpunkte der Erde anzunehmen, oder vielmehr anzunehmen, der Magnetismus sei in der Erde so vertheilt, daß die Gesammtwirkung nach außen der Wirkung eines fingirten kleinen Magneten im Mittelpunkte der Erde gleich sei. Daß eine solche Annahme sich mit den Beobachtungen nicht verträgt, sieht man auf den ersten Blick. Nach dieser Hypothese wären die magnetischen Pole diejenigen Punkte der Erdoberfläche, in welchen dieselbe von der verlängerten Axe des Centralmagneten getroffen wird; in diesen Polen müßte zugleich die Intensität ein Maximum sein; der magnetische Aequator wäre ein größter Kreis, und alle isoklinischen Linien mit demselben parallel u. s. w. Tobias Mayer hat diese Hypothese dadurch modificirt, daß er den fingirten Magneten um den 7ten Theil des Erdhalbmessers von dem Mittelpunkte der Erde entfernt annahm; Hansteen versuchte, die Erscheinungen durch die Annahme von zwei kleinen Magneten von ungleicher Lage und Stärke zu erklären. Alle diese Versuche gaben jedoch keine genügenden Resultate.

Gauß hat endlich einen anderen Weg eingeschlagen, indem er nicht, wie seine Vorgänger, von einer einfachen Hypothese über die magnetische Vertheilung in der Erde ausging und dann die Resultate dieser Hypothese mit der Erscheinung verglich, sondern er suchte gleich die Frage zu beantworten: wie muß dieser große Magnet beschaffen sein, um den Erscheinungen Genüge zu leisten?

Die Gauß'sche Theorie läßt sich ohne Hülfe höherer Rechnung nicht entwickeln, da es sich hier darum handelt, das Zusammenwirken aller magnetischen Kräfte, die keineswegs gleichförmig und regelmäßig vertheilt sind, in mathematischen Formen darzustellen; wir müssen uns also darauf beschränken, die Grundideen dieser Theorie anzudeuten.

Die Grundlage der Gauß'schen Theorie ist die Voraussetzung, daß die erdmagnetische Kraft die Gesammtwirkung der magnetisirten Theile des Erdkörpers ist. Das Magnetisirtsein stellt er sich als eine Scheidung der magnetischen Flüssigkeit in der Weise vor, wie wir dies im Lehrbuche der Physik, Bd. II., S. 8, entwickelt haben. Eine Vertauschung dieser Vorstellungsart mit der Ampère'schen würde in den Resultaten nichts ändern. Dies vorausgesetzt, wird die Gesammtheit aller magnetisirten Theile des Erdballs auf jeden Punkt im Raume eine bestimmte Wirkung ausüben, und diese Wirkung wird von einem Punkte des Raumes zum anderen sich ändern müssen. Wir haben hier nur diejenigen Punkte des Raumes zu betrachten, welche auf der Erdoberfläche liegen. Zunächst ist demnach klar, wie auch der freie Magnetismus im Inneren der Erde vertheilt sein mag, die Wirkung wird in verschiedenen Punkten der Erdoberfläche nicht dieselbe sein, sie wird von der geographischen Länge und Breite des Ortes abhängen, den man gerade betrachtet. Die Wirkungen des Erdmagnetismus müssen sich also durch Gleichungen ausdrücken lassen, in denen die Länge und die Breite die veränderlichen Größen sind; die Constanten dieser Gleichungen aber hängen von der Art und Weise ab, wie der freie Magnetismus in der Erde vertheilt ist.

Zunächst entwickelt Gauß auf diese Weise eine Gleichung für den Werth des magnetischen Potentials, einer Größe, aus welcher sich die Werthe der nördlichen, westlichen und verticalen Composante der erdmagnetischen Kraft und aus diesen dann wieder Declination, Inclination und totale Intensität leicht berechnen lassen.

Das magnetische Potential, welches also zunächst als eine wichtige Hülfsgröße für die Berechnung des Erdmagnetismus dient, hat aber auch eine physikalische Bedeutung. Denken wir uns an irgend einer Stelle der Erdoberfläche eine verticale Röhre angebracht, deren Querschnitt 1 Quadratmillimeter beträgt, und diese Röhre bis zu einer Höhe, in welcher die Wirkung des Erdmagnetismus unmerklich wird, mit nordmagnetischem Fluidum in der Weise gefüllt, daß jedes Cubikmillimeter 1 Maß (nach der bekannten absoluten Einheit dieses Fluidums) enthält, so stellt uns das magnetische Potential den Druck dar, welchen der Boden dieser Röhre dadurch auszuhalten hat, daß der Erdmagnetismus die in der Röhre enthaltene Flüssigkeit anzieht; da, wo das nordmagnetische Fluidum von dem Erdmagnetismus abgestoßen werden würde, hat man sich die Röhre in gleicher Weise mit südmagnetischem Fluidum gefüllt zu denken.

In den Karten Fig. 265, 266 und 267 (a. f. S.) sind die Linien gleicher Werthe des magnetischen Potentials dargestellt; die beigeschriebenen Zahlen beziehen sich nicht auf absolutes Maß, sondern auf eine willkürliche Ein-

heit; sie können durch Multiplication mit 0,0034941 auf absolutes Maß reducirt werden.

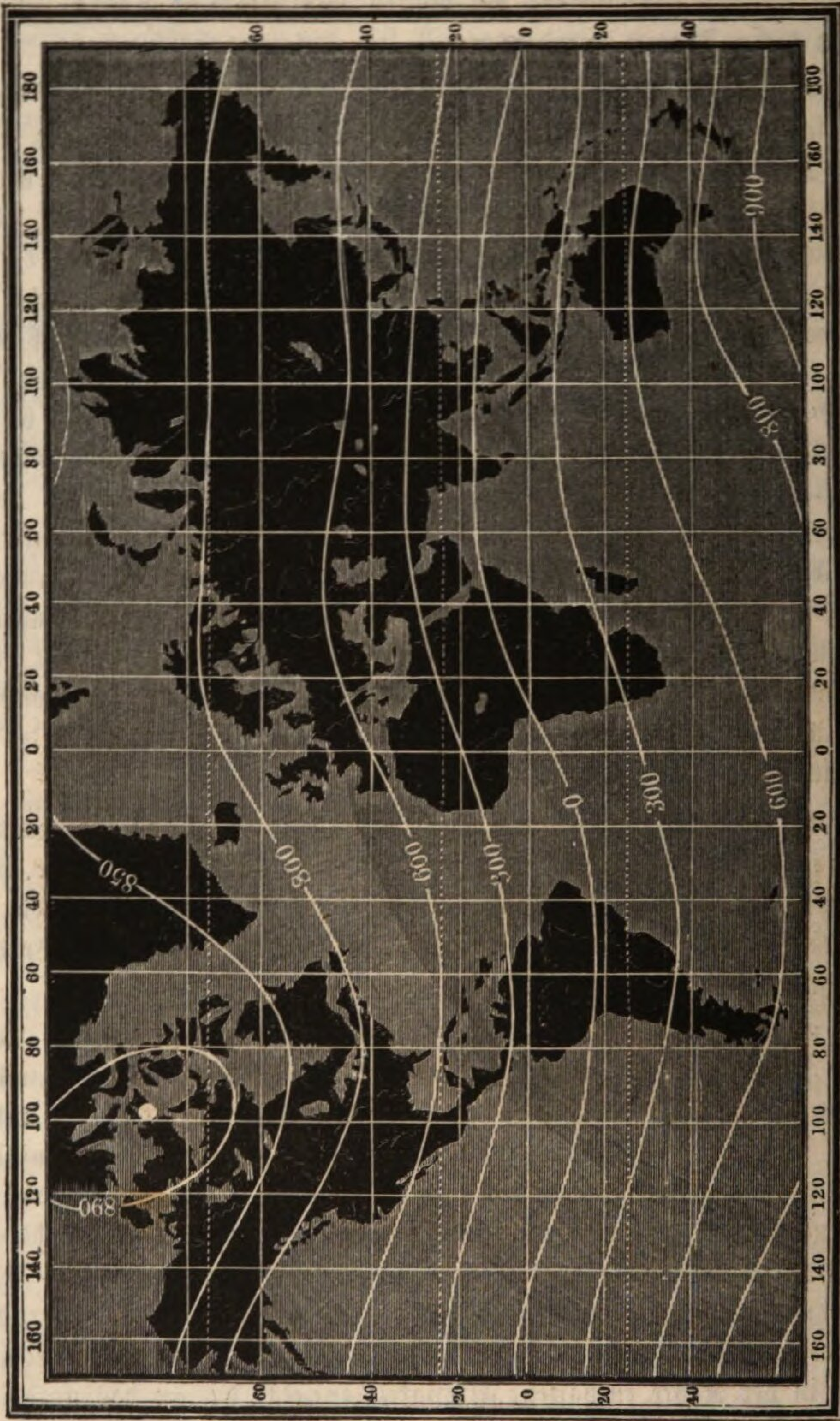


Fig. 265.

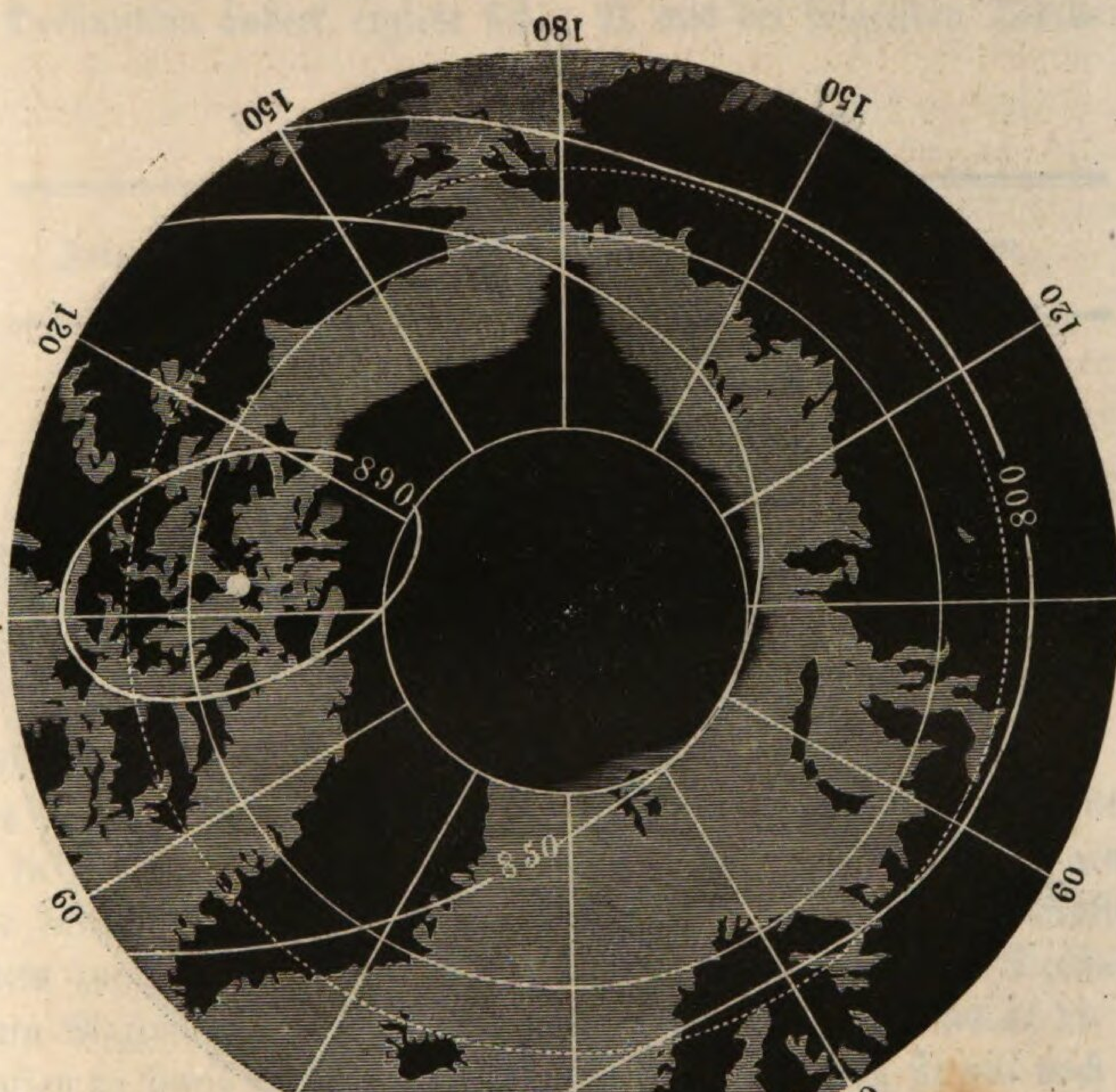
Die Curven gleicher Werthe des magnetischen Potentials wollen wir Gleichgewichtslinien nennen.

Aus dem Laufe der Gleichgewichtslinien ergiebt sich die Richtung der horizontalen Magnetnadel auf eine sehr einfache Weise, indem, wie Gauß gezeigt

hat, die Richtung der Declinationsnadel stets rechtwinklig auf den Gleichgewichtslinien stehen muß. Aus dem Laufe dieser Curven kann man die Richtung der Boussole für jeden Ort der Erdoberfläche auf eine ungleich einfachere und übersichtlichere Weise ableiten, als es mittelst der Declinationskarte möglich ist.

Zwischen den Werthen des magnetischen Potentials und der horizontalen Intensität findet folgende Beziehung Statt. Denken wir uns auf einer Karte nur solche Gleichgewichtslinien gezogen, welche gleichen Differenzen des magnetischen Potentials entsprechen, etwa nur solche Curven, welche den immer um 100 wachsenden Werthen des magnetischen Potentials entsprechen, so ist die horizontale Intensität der Entfernung der Gleichgewichtscurven umgekehrt pro-

Fig. 266.



portional; die horizontale Intensität ist also für solche Gegenden am größten, für welche die Gleichgewichtslinien am dichtesten sind; je weiter die gleichen Differenzen des Potentials entsprechender Curven auseinanderrücken, desto kleiner wird die horizontale Intensität.

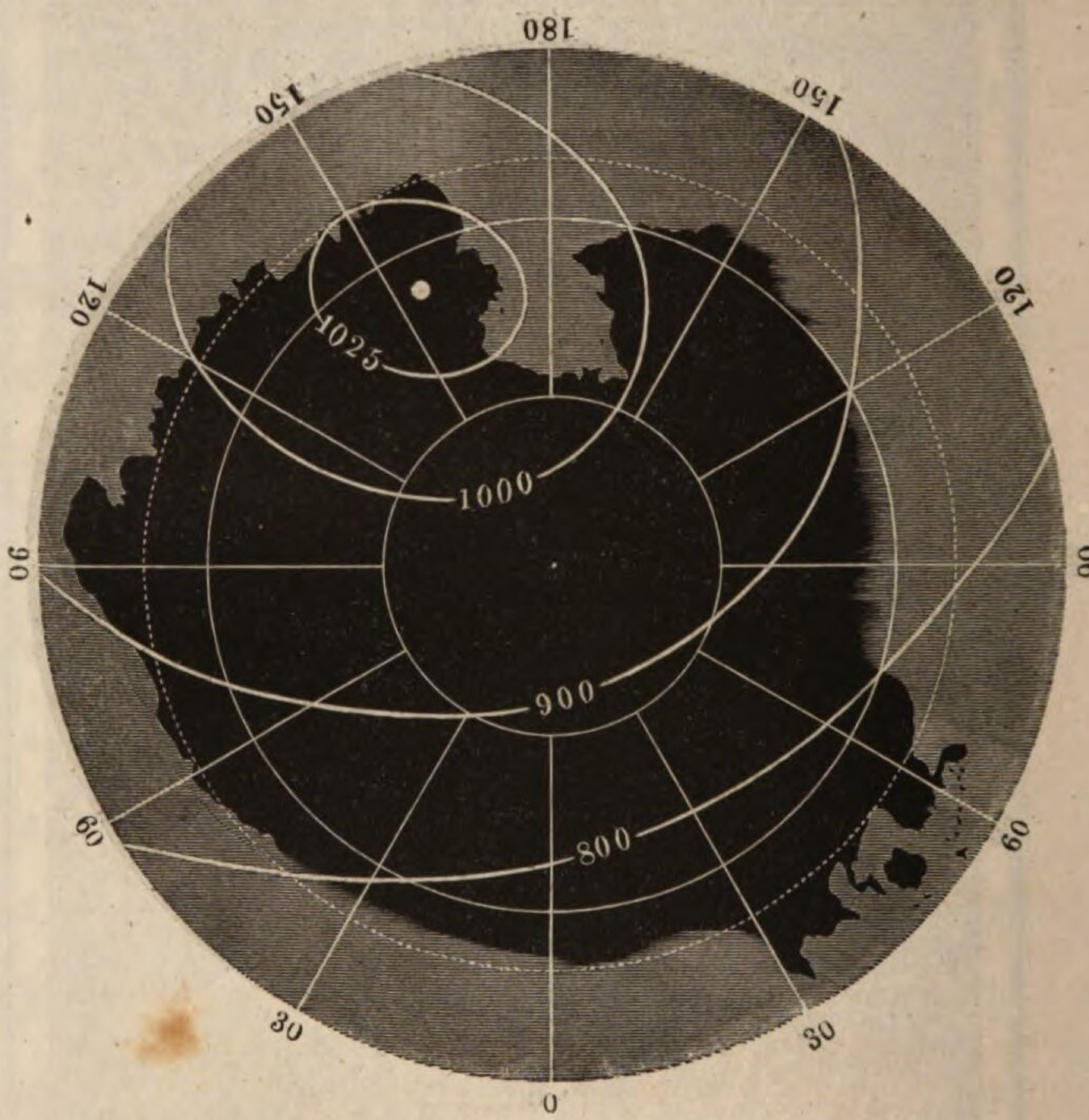
Aus der horizontalen Intensität ergiebt sich leicht die nördliche und westliche Composante, da ja durch den Lauf der Gleichgewichtslinien auch die Richtung der horizontalen magnetischen Kraft bestimmt ist.

Aus den Werthen des magnetischen Potentials ergeben sich ferner die Werthe

der verticalen Intensität; doch können wir diesen Zusammenhang hier nicht weiter verfolgen. Sind aber erst die drei Composanten der erdmagnetischen Kraft bestimmt, so kann man auch noch leicht die Größe und Richtung der ganzen Intensität ermitteln.

Wenn man in den Werthen für das magnetische Potential und die drei Composanten der erdmagnetischen Kraft nur diejenigen Glieder noch berücksichtigt, welche mit den 4ten Potenzen der veränderlichen Größen (Länge und Breite) behaftet sind, die höheren Potenzen aber vernachlässigt, so bleiben in den Werthen noch 24 constante Coefficienten zu bestimmen. Diese Coefficienten können wir nun nicht a priori aus der Vertheilung des freien Magnetismus in der Erde ableiten, weil wir ja noch nichts über die Art wissen wie der freie

Fig. 267.



Magnetismus vertheilt ist; die 24 Coefficienten müssen demnach durch die Combination von 24 verschiedenen Beobachtungen bestimmt werden. Die genaue Bestimmung der 3 Elemente des Erdmagnetismus an 8 verschiedenen Orten der Erdoberfläche würde also hinreichen, um die 24 Coefficienten zu ermitteln.

Sind einmal die constanten Coefficienten bekannt, so kann man nach den erwähnten Gleichungen die Werthe der drei Composanten der erdmagnetischen Kraft und folglich auch die Declination, die Inclination und die ganze Inten-

sität für jeden Ort der Erdoberfläche berechnen, wenn man für die Länge und Breite die diesem Orte entsprechenden Zahlenwerthe in die Gleichungen setzt.

Da es an einer hinlänglich genauen Bestimmung aller drei Elemente des Erdmagnetismus für acht weit genug von einander entfernte Orte der Erdoberfläche fehlt, so muß man mehr Beobachtungen zu Hülfe nehmen, als eigentlich zur Bestimmung der Coefficienten nöthig sind. Auf diese Weise werden sich für denselben Coefficienten mehrere verschiedene Werthe ergeben, und man hat alsdann nach der Methode der kleinsten Quadrate den wahrscheinlichsten Mittelwerth für jeden Coefficienten zu ermitteln.

Die säcularen Variationen. Die Elemente des Erdmagnetismus für irgend einen Ort auf der Erdoberfläche sind keineswegs unveränderliche Größen, wie dies bereits im Lehrbuch der Physik besprochen wurde. Wie bedeutend sich die Declination ändert, ergiebt sich z. B. aus der folgenden Tabelle: 203

Declination für Paris.

Jahr.	Declination.	Jahr.	Declination.
1580	11° 30′ östl.	1814	22° 34′ westl.
1618	8° »	1819	22 29 »
1663	0 »	1822	22 11 »
1770	8 10′ westl.	1832	22 3 »
1780	19 55 »	1842	21 25 »
1805	22 5 »	1852	20 20 »

Man sieht aus dieser Tabelle, daß im Jahre 1580 in Frankreich die Declination noch eine östliche war, daß sie abnahm und im Jahre 1663 Null wurde; in jenem Jahre also zeigte die Declinationsnadel zu Paris genau nach Norden. Von jener Zeit an war die Declination zu Paris eine westliche, und zwar stets zunehmend bis zum Jahre 1814, wo die westliche Declination zu Paris ein Maximum von 22° 34′ erreichte. Seit jener Zeit nimmt die westliche Declination zu Paris wieder ab, und im Jahre 1852 betrug sie nur noch 20° 20′.

Solche, Jahrhunderte lang in gleichem Sinne fortdauernde Aenderungen im Stande der Magnetnadel werden mit dem Namen der säcularen Schwankungen bezeichnet. Man übersieht den Gang derselben sehr deutlich, wenn man die magnetischen Karten verschiedener Zeiten mit einander vergleicht. Eine Declinationskarte für das Jahr 1600 (s. Gehlers physikalisches Wörterbuch) zeigt eine Kurve ohne Abweichung, welche in der Nähe von Bogota in Südamerika einen südlichen Wendepunct hat; sie steigt im atlantischen Ocean rasch nach Norden und hat an der Küste von Norwegen ungefähr unter dem 65. Grade nördlicher Breite ihren nördlichen Wendepunct; von da wendet sie sich nach Petersburg, wo sie ihren östlichen Wendepunkt erreicht, um dann über das Südende von Italien und den Meerbusen von Guinea nach dem Cap der gu-

ten Hoffnung zu gehen. Eine zweite Curve ohne Abweichung ging damals durch Korea, China und Borneo nach Neuholland.

Wie groß gegenwärtig die jährliche Aenderung der Declination für Deutschland ist, ersieht man aus folgender Tabelle, welche nach Lamont die Declination zu München für den 1. Januar der folgenden Jahre ergiebt:

1841	16°	57,5′	1847	16°	17,4′
1842	16	50,4	1848	16	10,3
1843	16	43,4	1849	16	2,5
1844	16	37,1	1850	15	53,9
1845	16	30,4	1851	15	47,4
1846	16	23,5	1852	15	40,1

also im Durchschnitt ungefähr eine Abnahme von $6^1/_2$ Minuten im Jahre.

Begreiflicher Weise ist der Gang der sacularen Variationen der Declination in verschiedenen Gegenden nicht derselbe. So erreichte z. B. die Declination auf dem Cap der guten Hoffnung erst im Jahre 1843 ihr westliches Maximum, während auf St. Helena noch gegenwärtig die westliche Declination ungefähr um 8′ jährlich zunimmt.

Man kann sich diese Differenzen wohl erklären, wenn man bedenkt, daß das Curvensystem im Allgemeinen gegenwärtig wenigstens nach Westen hin fortschreitet.

Aehnliche säculare Aenderungen zeigt auch die Inclination, wie man aus folgender Tabelle sieht:

Inclination für Paris.

Jahr.	Inclination.		Jahr.	Inclination.	
1671	75°		1820	68°	20′
1780	71	48′	1825	68	0
1806	69	12	1831	67	40
1814	68	36	1835	67	24

und gegenwärtig beträgt die Inclination nicht mehr ganz 67 Grad.

Wie groß gegenwärtig die jährliche Aenderung der Inclination ist, ersieht man aus folgender Tabelle, welche nach Lamont die Werthe der Inclination zu München für den Anfang der nachgenannten Jahre angiebt:

1841	65°	22,0′	1847	65°	7,0′
1842	65	19,5	1848	65	4,5
1843	65	17,0	1849	65	2,0
1844	65	14,5	1850	64	59,5
1845	65	12,0	1851	64	57,0
1846	65	9,5	1852	64	54,5

Die Abnahme der Inclination beträgt also in Deutschland ungefähr 2,3 Minuten im Jahre.

Auch die Variationen der Inclination halten in verschiedenen Ländern keineswegs gleichen Gang. Während sich in Europa gegenwärtig das Nordende der Inclinationsnadel allmälig hebt, nimmt die ungefähr 22° betragende südliche Inclination auf St. Helena ungefähr um 8 Minuten jährlich zu.

Was die Intensität anbelangt, so ist die Zeit, während welcher man diesem Element die nöthige Aufmerksamkeit gewidmet hat, zu kurz, um den Gang der säcularen Variationen desselben mit einiger Sicherheit zu übersehen. Die horizontale Intensität nimmt gegenwärtig in Deutschland zu, was aber wenigstens theilweise von der Abnahme der Inclination herrührt. Für München war die horizontale Intensität

Anfangs	1841	1,9300	Anfangs	1847	1,9417
»	1842	1,9339	»	1848	1,9432
»	1843	1,9373	»	1849	1,9437
»	1844	1,9374	»	1850	1,9523
»	1845	1,9374	»	1851	1,9549
»	1846	1,9397	»	1852	1,9508

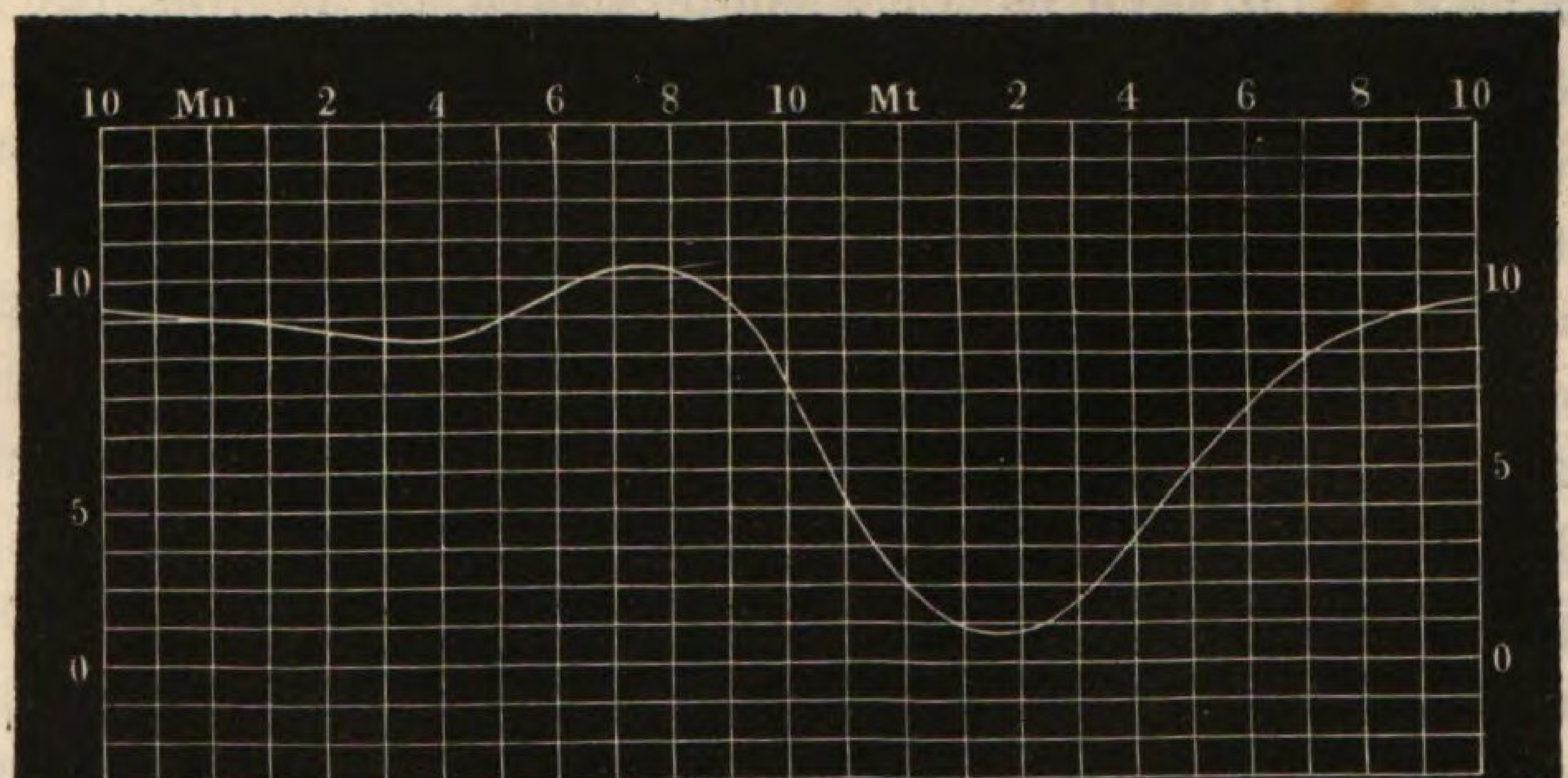
Bis jetzt ist man noch nicht im Stande, einen genügenden Grund für die säcularen Aenderungen der erdmagnetischen Constanten anzugeben.

Die täglichen Variationen. Die säcularen Aenderungen in der Richtung der Magnetnadel gehen nicht in der Art vor sich, daß die Nadel sich ganz langsam und gleichförmig nach einer bestimmten Richtung hin fortbewegt, sondern die Magnetnadeln sind beständigen Schwankungen unterworfen, in welchen sich zunächst eine tägliche Periode ausspricht. 204

Was die Declination betrifft, so ist der Verlauf ihrer täglichen Variationen in Deutschland ungefähr folgender: Morgens um 8 Uhr hat die Declinationsnadel im Durchschnitt ihre östlichste Stellung; ziemlich rasch bewegt sich nun ihr Nordende gegen Westen und erreicht zwischen 1 und 2 Uhr ihren westlichen Wendepunkt, um dann wieder nach Osten hin zu wandern, und zwar in den Nachmittags- und Abendstunden schneller, während der Nachtstunden langsamer.

Dieser Gang der Declinationsnadel wird durch die Curve Fig. 268 an-

Fig. 268.



schaulich gemacht, welche den mittleren täglichen Gang der täglichen Variationen der Declinationsnadel zu Göttingen darstellt. Die Abscissen sind der Zeit, die Ordinaten den Variationen der Declination proportional, und zwar entspricht der Abstand zweier Verticalstriche einem Zeitintervall von 1 Stunde, während der Abstand zweier Horizontallinien einer Winkeldifferenz von 1 Minute entspricht. — Am oberen Rande der Figur ist die Zeit nach bürgerlicher, am unteren Rande ist sie nach astronomischer Weise gezählt.

Ein Steigen der Curve entspricht einer nach Osten, ein Sinken entspricht einer nach Westen gerichteten Bewegung des Nordendes der Nadel.

Die Amplitude der täglichen Bewegung der Magnetnadel, d. h. der Winkel zwischen ihrem östlichsten und ihrem westlichsten Stande, ist veränderlich, und zwar ist sie im Allgemeinen von der Jahreszeit abhängig; sie ist größer im Sommer, kleiner im Winter. Folgendes sind die Mittelwerthe dieser Amplitude für die verschiedenen Monate zu Göttingen:

Januar . . .	6,7′	Juli . . .	12,1′
Februar . .	7,4	August . . .	13,0
März . . .	11,9	September . .	11,8
April . . .	13,9	October . . .	10,3
Mai	13,5	November . .	6,9
Juni	12,5	December . .	5,0

Derselbe Gang der täglichen Variationen der Declination zeigt sich im Wesentlichen für alle Orte, welche nördlich vom magnetischen Aequator liegen, nur werden sie um so schwächer, je mehr man sich von den Polargegenden aus dem magnetischen Aequator nähert, für welchen sie fast völlig verschwinden, um auf der Südhälfte der Erde in gleicher Weise, aber in entgegengesetzter Richtung aufzutreten, d. h. auf der südlichen Hemisphäre bewegt sich das Südende der Nadel zu denselben Tageszeiten nach Westen, in welchen auf der nördlichen Hemisphäre das Nordende der Nadel nach Westen geht.

Auch die Inclination ist Variationen von 24 stündiger Periode unterworfen, und zwar ist sie im Durchschnitt um 10 Uhr Morgens am größten und um 10 Uhr Abends am kleinsten.

Dieselben Wendestunden zeigen auch die täglichen Variationen der totalen Intensität, nur zeigt sich hier ein entgegengesetzter Gang, indem das Maximum der totalen Intensität im Durchschnitt Abends um 10 Uhr, das Minimum Morgens um 10 Uhr eintritt.

205 **Magnetische Störungen.** Wenn man die Declinationsnadel mit Sorgfalt beobachtet, so zeigt sich, daß sie keineswegs so stetig von Ost nach West und dann wieder von West nach Ost geht, wie es die Curve Fig. 268 zeigt, welche ja nur als Durchschnitts-Resultat einer großen Reihe von Beobachtungen gewonnen wurde. Von diesem in Fig. 268 dargestellten normalen Gange der Declinationsnadel weichen die wirklichen Schwankungen in der Lage des magnetischen Meridians, wie sie an einzelnen Tagen beobachtet werden, mehr oder weniger ab. Ueberhaupt aber ist die Bewegung der frei beweglichen Magnetnadel keineswegs eine gleichförmige, sondern sie geschieht immer mehr oder

weniger stoßweise, so daß der magnetische Meridian gewissermaßen bald nach Ost, bald nach West über seine Mittellage hinausschwankt. Diese Bewegungen kann man als Störungen des normalen Ganges der Nadel bezeichnen.

Humboldt, welcher sich schon in den Jahren 1799 bis 1804 durch die Bestimmung der magnetischen Constanten in den Aequinoctialgegenden Amerikas große Verdienste um die Kenntniß des Erdmagnetismus erworben hatte, veranlaßte zur genauen Erforschung der magnetischen Störungen, daß von 1828 bis 1830 zu Berlin, Freiberg, Nikolajew und Kasan an vorausbestimmten Tagen die Declinationsnadel stündlich beobachtet wurde, wobei sich ein merkwürdiger Parallelismus in der Bewegung der Nadeln verschiedener Orte herausstellte, der auch durch spätere Beobachtungen die vollste Bestätigung fand.

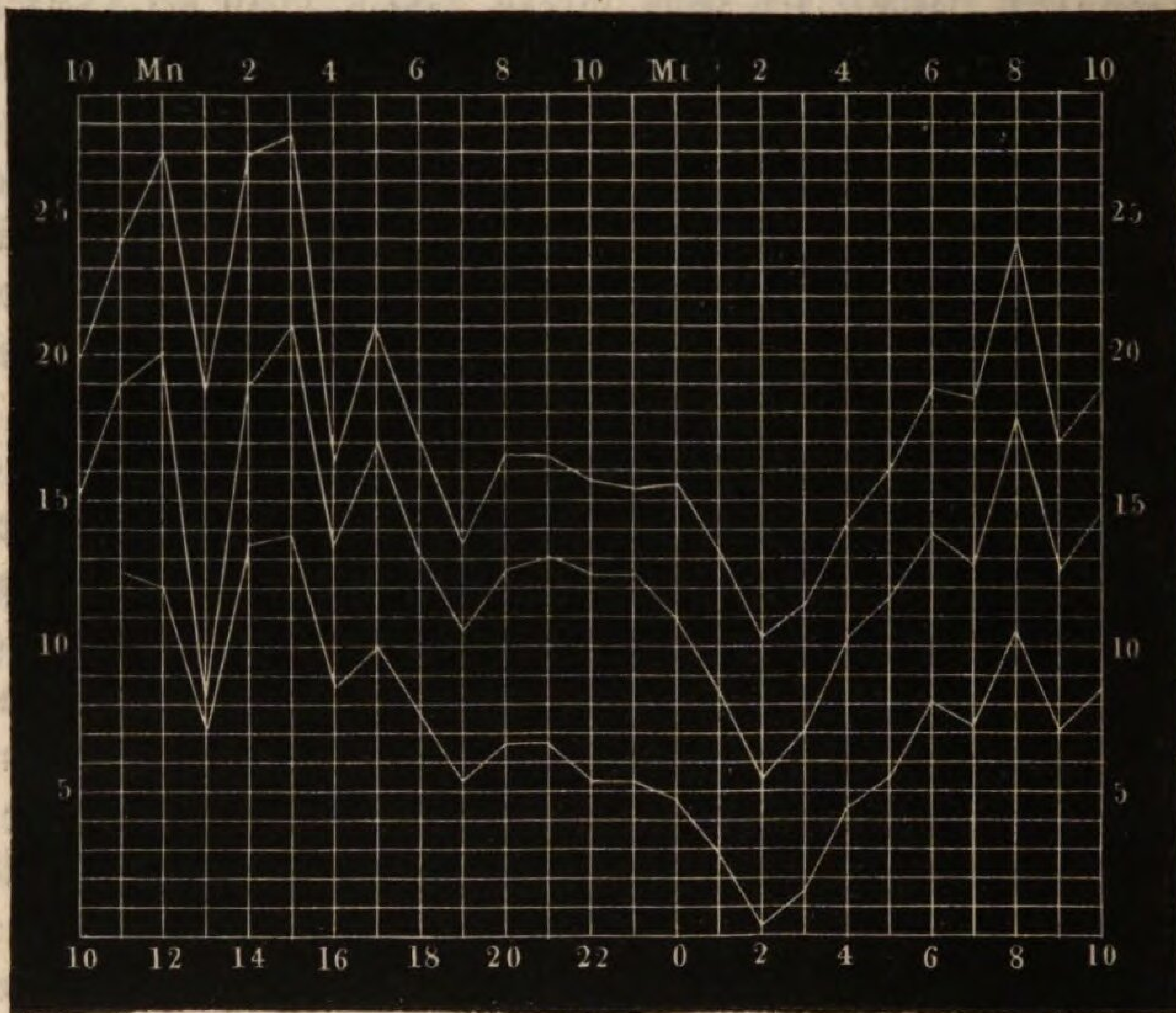
Einen großartigen Aufschwung nahmen die erdmagnetischen Beobachtungen, nachdem Gauß durch Anwendung des Poggendorff'schen Spiegelapparats in seinem Magnetometer eine Vorrichtung construirt hatte, welche die geringsten Veränderungen in der Lage des magnetischen Meridians zu beobachten gestattete. Es wurden nun, von 1834 anfangend, an verschiedenen Orten Deutschlands und der benachbarten Länder nach demselben Princip construirte Apparate aufgestellt, um correspondirende Beobachtungen anzustellen, d. h. um an vorausbestimmten Terminen 24 Stunden lang die Variationen der Declinationsinstrumente von 5 zu 5 Minuten zu beobachten. Um die Beobachtungen genau gleichzeitig zu machen, wurde die Bestimmung getroffen, daß man überall nach Uhren beobachten sollte, welche nach Göttinger Zeit gerichtet sind. So entstand denn der von Gauß geleitete Verein, zu welchem im Jahre 1838 folgende Beobachtungsstationen gehörten:

Altona,	Greenwich,	London,
Augsburg,	Haag,	Mailand,
Berlin,	Hannover,	Marburg,
Breda,	Heidelberg,	München,
Breslau,	Freiberg,	Petersburg,
Brüssel,	Kopenhagen,	Prag,
Christiania,	Krakau,	Seeberg,
Dublin,	Kremsmünster,	Stockholm,
Genf,	Leipzig,	Upsala.

Die in den »Resultaten des magnetischen Vereins« publicirten Terminsbeobachtungen bestätigten nun den schon erwähnten Parallelismus im Gange der an verschiedenen Orten aufgestellten Declinationsinstrumente, wie man dies wohl am besten aus der graphischen Darstellung der Terminsbeobachtungen sieht. So stellen denn die Figuren 269 und 270 die Terminsbeobachtungen von Upsala, Göttingen und Mailand vom 26. auf den 27. Februar und vom 28. auf den 29. Mai 1841 dar, und zwar sind in diesen Figuren nur die von Stunde zu Stunde gemachten Beobachtungen eingetragen, während die graphischen Darstellungen des magnetischen Vereins, in ungleich größerem Maßstab ausgeführt, die Resultate der von 5 zu 5 Minuten angestellten Beobachtungen vollständig wiedergeben.

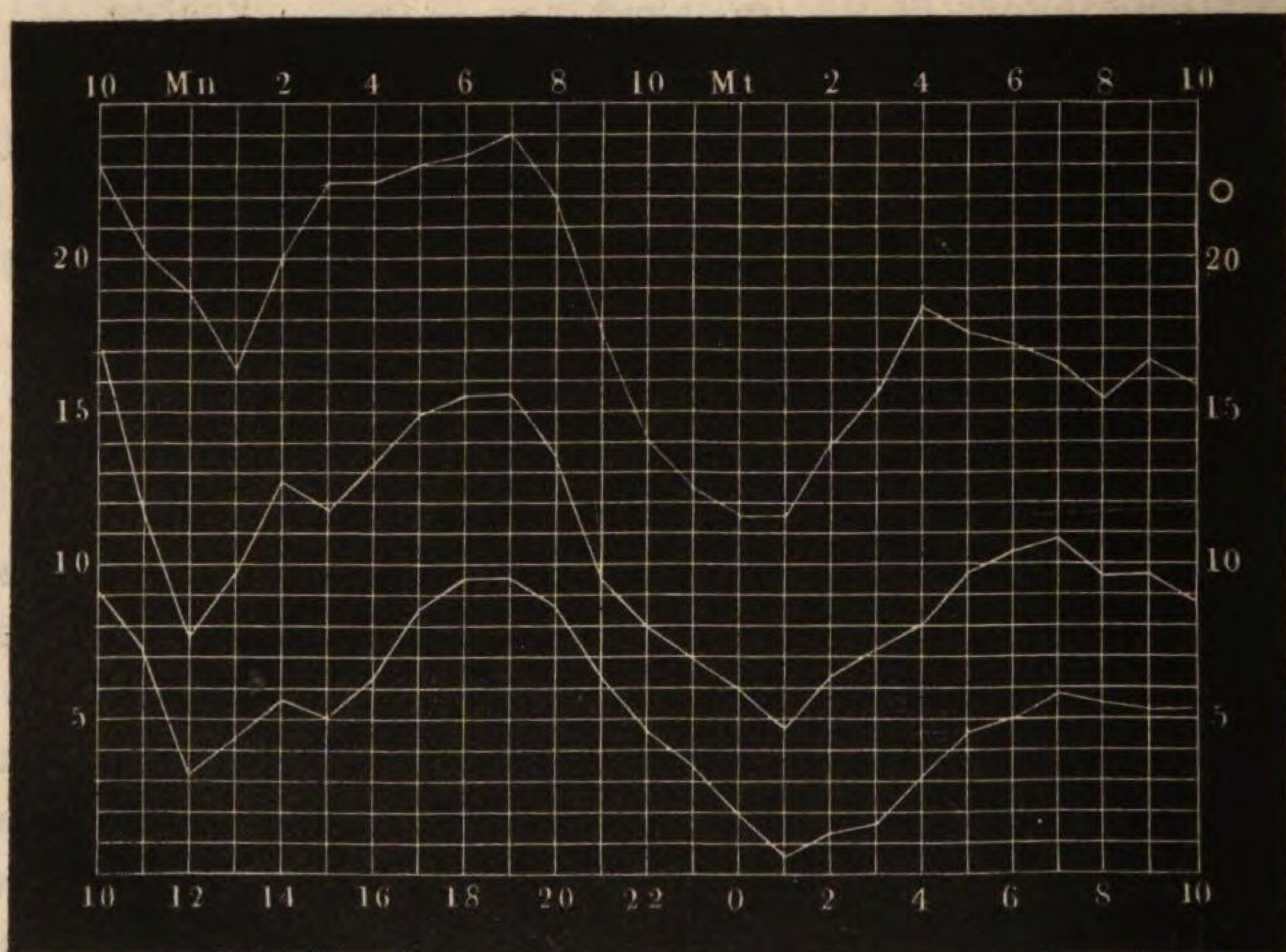
Die 24 Stunden dauernden Terminsbeobachtungen beginnen um 10 Uhr Abends.

Fig. 269.



Termirsbeobachtungen vom 26. und 27. Februar 1841.

Fig. 270.



Terminsbeobachtungen vom 28. und 29. Mai 1841.

Die oberste Curve gilt für Upsala, die mittlere für Göttingen, die unterste für Mailand.

Der Maßstab der Figuren 269 bis 272 ist derselbe wie der Maßstab der Fig. 268, und alle zum Verständniß der Fig. 268 gegebenen Erläuterungen gelten auch für diese Figuren.

Es versteht sich wohl von selbst, daß im Lauf einer Stunde der Gang der Declinationsnadel nicht etwa ein gleichförmiger ist, wie es in unseren Figuren die geraden Linien andeuten, welche je zwei auf einander folgende Beobachtungspunkte mit einander verbinden, sondern daß in der Zwischenzeit die Nadel gleichfalls nach der einen und anderen Seite ihres mittleren Ganges ausschlägt. Diese in kürzeren Zeitintervallen auftretenden Oscillationen können natürlich in den stündlichen Beobachtungen nicht wahrgenommen und in einer Zeichnung nicht ausgedrückt werden, welche nur nach den stündlichen Beobachtungen construirt ist.

Man sieht aus diesen Darstellungen, daß die Störungen in der Regel von der Art sind, daß sie den mittleren täglichen Gang noch deutlich hervorheben, daß also die Störungen als Oscillationen um den mittleren Gang der Declination auftreten. Diese nicht periodischen Schwankungen ändern sich nun von einem Tage zum anderen; an dem einen Tage sehr bedeutend, sind sie am anderen wieder sehr gering.

Im Allgemeinen fallen die Störungen der Declination um so bedeutender aus, je mehr man sich den Polargegenden nähert. So ging z. B. am 26. Februar 1841, Morgens von 3 bis 4 Uhr, die Declinationsnadel zu Upsala ungefähr um 12′, zu Göttingen nahe um 8′, zu Mailand um etwas über 5′ nach Westen.

Die Terminszeichnungen Fig. 269 und Fig. 270, liefern nun auch eine anschauliche Bestätigung der bereits oben schon ausgesprochenen Thatsache, daß die Störungen im Allgemeinen nicht localen Ursachen zugeschrieben werden können, indem dieselbe Schwankung in gleicher Richtung fast gleichzeitig an allen Orten derselben Hemisphäre eintritt, welche nahezu gleiche geographische Länge haben.

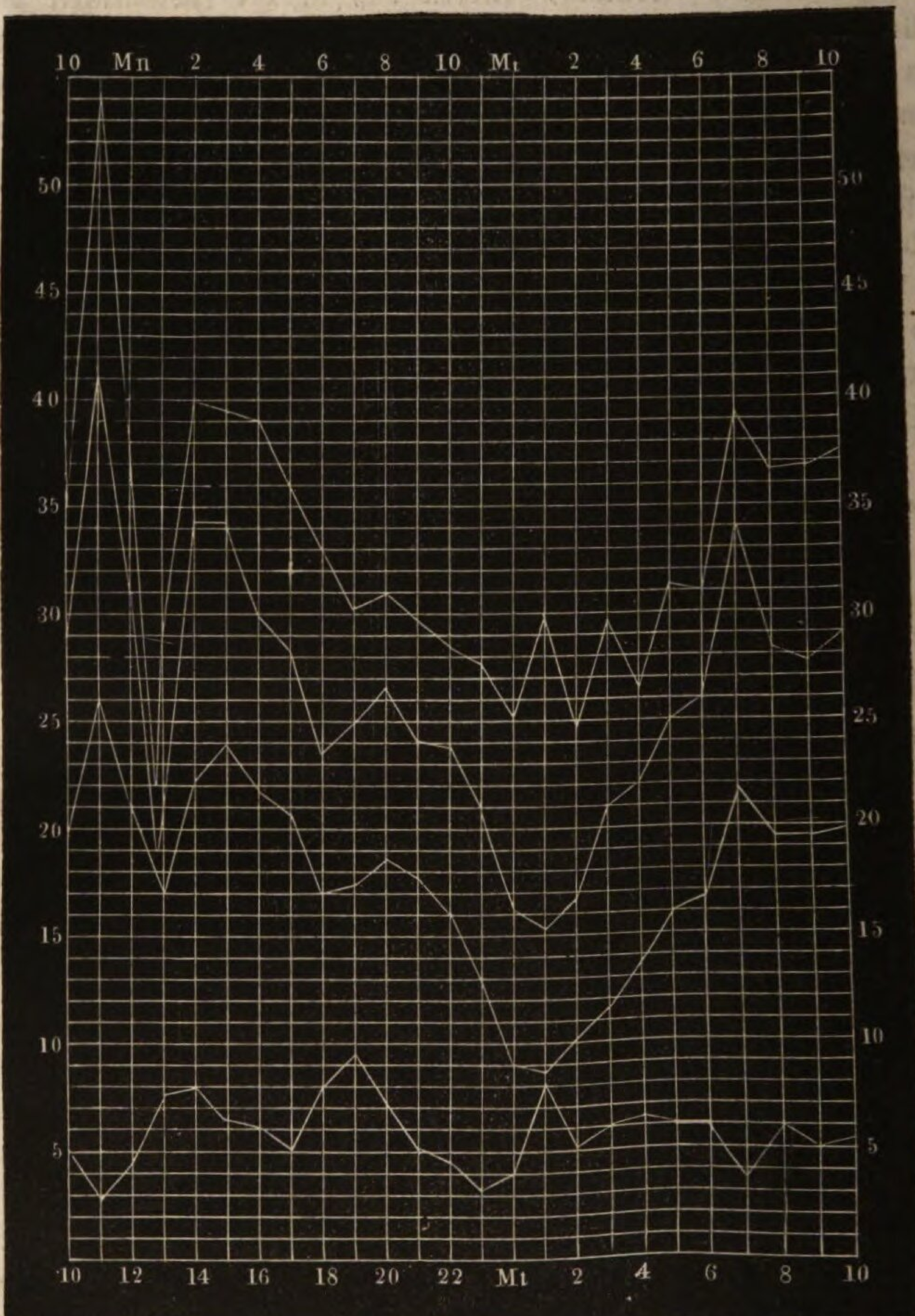
Auch außerhalb Europa wurden nun bald durch die Unterstützungen verschiedener Regierungen, namentlich der englischen und russischen, magnetische Observatorien errichtet, wo nach demselben Plane beobachtet werden sollte, so namentlich zu Algier, Barnaul (Sibirien), Bombay, Cambridge (Nordamerika), Cap der guten Hoffnung, Madras, Nertschinsk, Philadelphia u. s. w. Dadurch wurde es nun möglich, auch die Störungen der südlichen Hemisphäre mit denen der nördlichen und die nicht periodischen Schwankungen östlicher gelegener Orte mit den gleichzeitigen Schwankungen weit nach Westen hin liegender zu vergleichen.

Fig. 271 stellt die Terminsbeobachtungen der Declination vom 27. und 28. August 1841 zu Upsala, Göttingen, Mailand und dem Cap der guten Hoffnung dar. Die drei oberen Curven bestätigen, was bereits über die Curven Fig. 269 und Fig. 270 gesagt worden ist, die unterste Curve aber zeigt, daß die Störungen auf der südlichen Hemisphäre in fast vollkommenem

Gegensatz zu den Schwankungen stehen, welche gleichzeitig an Orten der nördlichen Halbkugel stattfinden, die nahezu gleiche geographische Länge haben.

Für verschiedene Orte, welche nahezu gleiche geographische Breite, aber verschiedene Länge haben, zeigt sich gleichfalls ein Zusammenhang in den Störungen, aber in anderer Weise. Wenn zu irgend einer Zeit an einem bestimm-

Fig. 271.

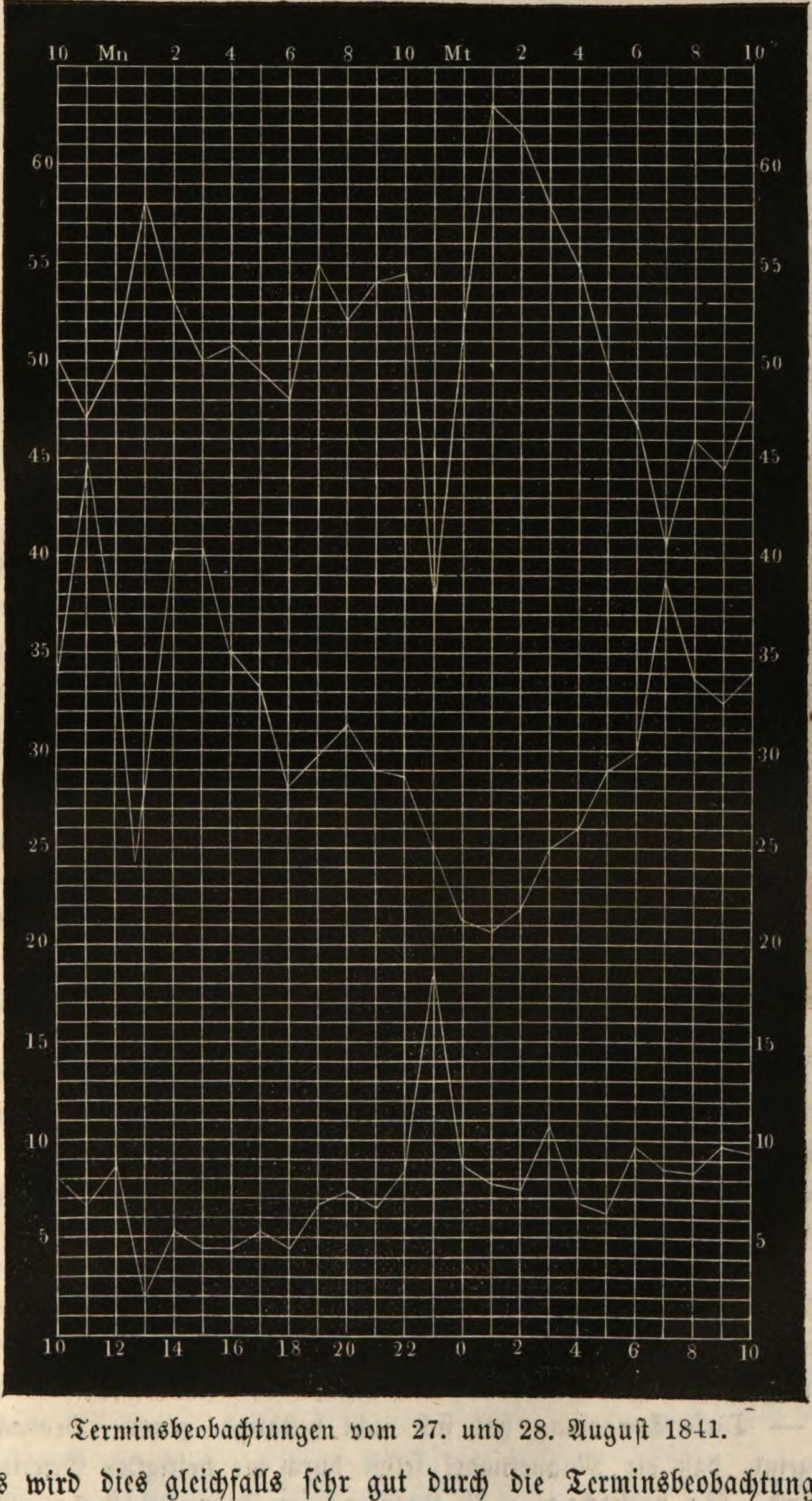


Terminsbeobachtungen vom 27. und 28. August 1841.

ten Orte eine besonders starke Störungsschwankung stattfindet, so wird sie nach Ost und nach West hin in gleicher Richtung, aber mit abnehmender Stärke auftreten; 90° östlich und 90° westlich von dem Orte, wo die Schwankung im Maximum auftritt, wird in demselben Momente gar keine oder nur eine unbedeutende Schwankung beobachtet, auf der anderen Hälfte des Parallels aber

haben die gleichzeitigen Störungsschwankungen eine entgegengesetzte Richtung, und zwar zeigt sich ein östliches Maximum 180° von dem Punkte entfernt, wo gerade das westliche Maximum auftritt.

Fig. 272.



Terminsbeobachtungen vom 27. und 28. August 1841.

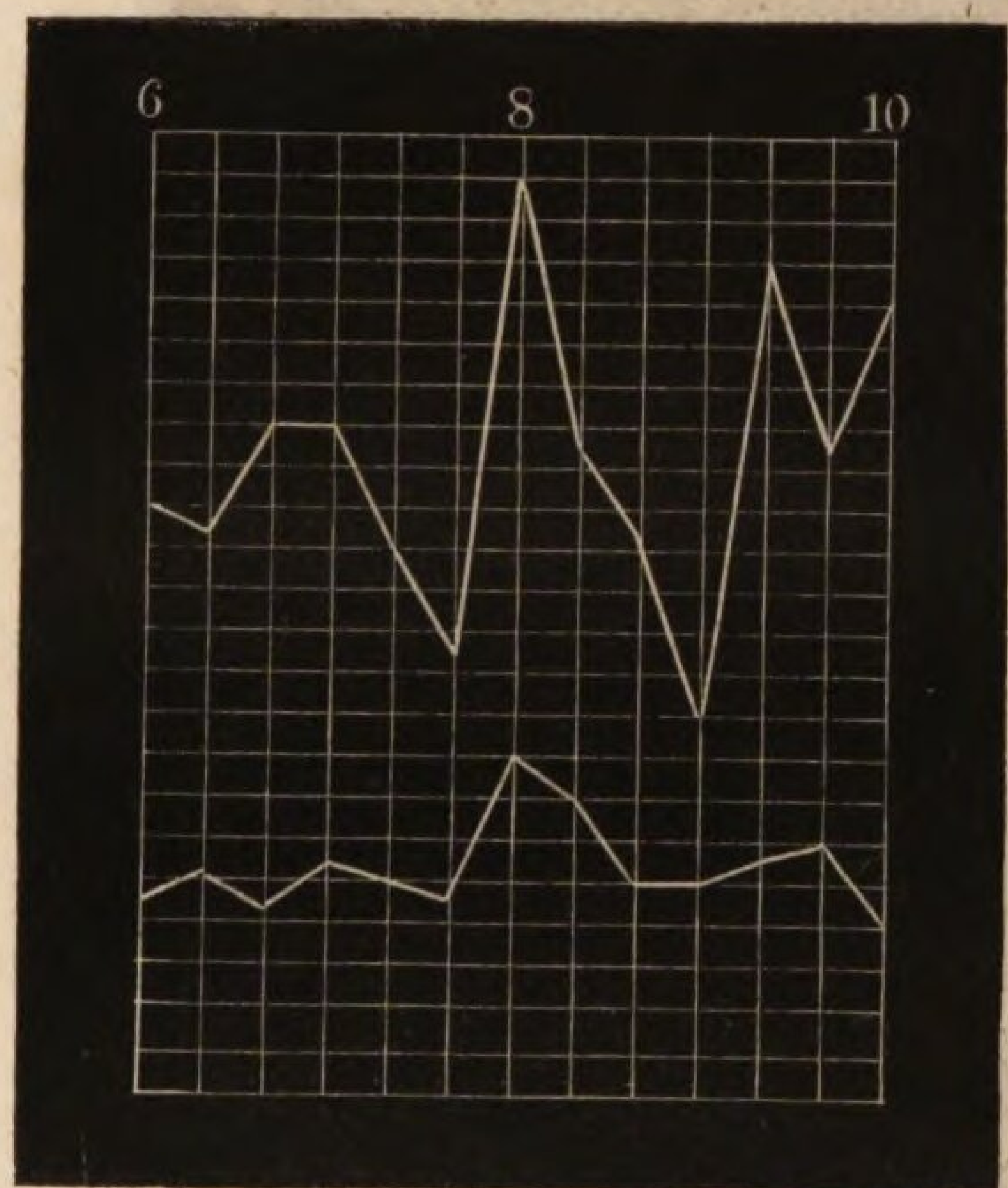
Es wird dies gleichfalls sehr gut durch die Terminsbeobachtungen vom 27. und 28. August 1841 erläutert, nach welchen in Fig. 272 der gleichzeitige

Gang der Declinationsnadel für Toronto (am Ontario=See), Göttingen und Nertschinsk dargestellt ist. Die mittlere dieser drei Curven, welche für Göttingen gilt, haben wir bereits in Fig. 271 kennen gelernt. Die oberste der drei Curven gilt für Toronto, die unterste für Nertschinsk. Toronto und Nertschinsk sind ungefähr um 180 Längengrade von einander entfernt und Göttingen liegt nahezu gleichweit von beiden entfernt.

Hier sehen wir nun, daß während der bedeutenden Schwankungen, welche zu Göttingen zwischen dem 27. August 10 Uhr Abends und dem 28. August 2 Uhr Morgens stattfanden, die Declinationsnadel zu Toronto und zu Nertschinsk nur eine unbedeutende Bewegung zeigte; während dagegen am folgenden Tage zu Göttingen zwischen 10 und 12 Uhr Vormittags die Declinationsnadel ziemlich ruhig dem normalen Gange folgte, sehen wir zu Toronto und Nertschinsk bedeutende Schwankungen eintreten, und zwar zu Nertschinsk in entgegengesetzter Richtung wie zu Toronto.

Fig. 273 stellt in größerem Maaßstab als die letzten Figuren den gleichzeitigen Gang der Declinationsstörungen dar, wie sie am 23. Februar von 6 bis 10 Uhr Abends (Göttinger Zeit) zu Upsala und zu Alten in Finnmarken durch Lottin, Bravais und Martins beobachtet wurden; die obere Curve gilt für Alten, die untere für Upsala. Man sieht hier auf den ersten Blick, daß die schöne Uebereinstimmung, welche stets in den Variationen von Catania in Sicilien bis Upsala gefunden wurde, weiter nach Norden aufhört, so daß man bei Vergleichung der Curven von Alten und Upsala, trotz der verhältnißmäßig geringen Entfernung beider Orte kaum erkennen würde, daß sie sich auf denselben Termin beziehen. Aehnliche Resultate liefern auch andere Beobachtungen. Ueberhaupt sind die Störungen in den Polargegenden außerordentlich groß und von gänzlich veränderter Gestalt.

Fig. 273.



Die Inclination und die Intensität sind ähnlichen Störungen unterworfen, wie die Declination.

206 **Ursache der magnetischen Störungen.** Was den Zusammenhang der magnetischen Störungen mit anderen Naturerscheinungen betrifft, so vermuthete man, daß wohl Gewitter einen Einfluß auf die Magnetnadel ausüben müßten. — Diese Erwartung hat sich nicht bestätigt, genaue Beobachtungen haben gezeigt, daß die Magnetnadel selbst durch die heftigsten Gewitter nicht afficirt wird. So beobachtete z. B. Lamont im Jahre 1842 das Magneto-

meter gerade in dem Augenblicke, wo der Blitz in der Nähe des Observatoriums auf freiem Felde einschlug, ohne daß er eine auffallende Bewegung der Nadel wahrnehmen konnte.

Anders verhält es sich mit Erdbeben und vulcanischen Ausbrüchen, welche älteren und neueren Beobachtungen zufolge meist von bedeutenden magnetischen Störungen begleitet sind. So sah Bernouilli im Jahre 1767, daß während eines Erdbebens die Inclination um $^1/_2$ Grad abnahm, und bei einem Ausbruch des Vesuvs bemerkte Pater de la Torre, daß die Declination um mehrere Grade variirte.

Am 18. April 1842 um 9 Uhr 10 Minuten beobachtete Kreil in Prag gerade das Declinationsinstrument, als die Nadel plötzlich einen so starken Stoß erhielt, daß die Scala über das Gesichtsfeld des Fernrohrs hinausfuhr. Dieselbe Oscillation wurde in demselben Augenblicke und zwar in gleicher Richtung auch von Cella in Parma und von Lamont in München beobachtet, und kurze Zeit darauf erfuhr man, daß in derselben Minute in Griechenland ein heftiges Erdbeben stattgefunden hatte.

In einem sehr innigen Zusammenhange mit den magnetischen Störungen stehen auch die Nordlichter, welche wir in den folgenden Paragraphen besprechen wollen.

Ueber die Ursache der magnetischen Störungen läßt sich nicht wohl eher eine zuverlässige Ansicht gewinnen, als man weiß, wo man eigentlich den Sitz der erdmagnetischen Kräfte zu suchen habe. Geleitet durch die Unregelmäßigkeiten im Verlauf der magnetischen Curven, welche bereits auf Seite 482 erwähnt wurden, hat es Lamont höchst wahrscheinlich gemacht, daß der Sitz des Erdmagnetismus in einem compacteren Kerne zu suchen sei, welcher sich unter der weniger dichten Erdrinde befindet, auf welcher wir leben.

Da wir nun aber wissen, daß das Innere der Erde sich in feurig-flüssigem Zustande befindet, so besteht demnach die feste Erdrinde aus zwei Schichten; einer weniger dichten, unter der sich dann eine compactere befindet, welche der Sitz des Erdmagnetismus ist. Diese magnetische Schicht, welche man sich als eine metallische, oder mit zahlreichen Adern von Eisen durchzogene vorstellen kann, ist im Allgemeinen ebenfalls von kugelförmiger Gestalt, aber sie ist, wie die äußere Erdoberfläche, mit mehr oder minder beträchtlichen Erhöhungen versehen. An solchen Stellen unserer Erdoberfläche nun, welche gerade über den höchsten Gipfeln dieser unterirdischen magnetischen Gebirge liegen, wird nun offenbar der Erdmagnetismus stärker vertreten und es ist somit klar, daß die uns noch unbekannte Lage dieser magnetischen Hervorragungen einen wesentlichen Einfluß auf den Lauf der magnetischen Curven haben muß.

Nach dieser Hypothese begreift man nun sehr gut, daß Erdbeben und namentlich Ausbrüche von Vulkanen stets von mehr oder weniger starken magnetischen Störungen begleitet sein müssen, denn bei jedem Ausbruche eines Vulkans muß diese magnetische Kruste durchbrochen werden, und bei jedem Erdbeben erleidet dieselbe mehr oder weniger bedeutende Erschütterungen.

Die magnetischen Störungen, welche wir in den letzten Paragraphen be-

sprochen haben, beweisen, daß der magnetische Zustand dieser magnetischen Schicht keineswegs unverändert derselbe bleibt, daß er vielmehr mannichfachen Variationen unterworfen ist, welche theils allmälig vor sich gehen, und von welchen die seculären Schwankungen herrühren, theils aber auch an eine tägliche Periode gebunden sind. Diese periodischen Variationen gehen aber nicht stetig vor sich, sondern es finden stets stoßweise Schwankungen um den mittleren magnetischen Zustand Statt.

Am einfachsten kann man sich von diesen Variationen und Schwankungen Rechenschaft geben, wenn man den Erdmagnetismus von elektrischen Strömen ableitet, welche den fraglichen Kern in stets veränderlicher Stärke und Richtung durchziehen. Die tägliche Periode der magnetischen Variationen scheint aber darauf hinzudeuten, daß wir hier mit thermo-elektrischen Strömen zu thun haben.

207 **Das Nordlicht.** In den winterlichen Gegenden jenseits des nördlichen Polarkreises, wo die Sonne je nach der größeren geographischen Breite um die Zeit des Wintersolstitiums Wochen und Monate lang unter dem Horizonte steht, werden die langen Nächte häufig durch die prachtvolle Erscheinung des Nordlichtes (Aurora borealis) erhellt, dessen eigentliches Wesen uns noch räthselhaft ist, und welches hier in diesem Capitel nur deshalb abgehandelt wird, weil dasselbe, wie wir bald sehen werden, in mannigfacher Beziehung zum Erdmagnetismus steht.

Je weiter man sich vom Pole entfernt, desto seltener und desto weniger brillant wird die Erscheinung des Nordlichtes. Die letzten ausgezeichneten Nordlichter, welche man in Deutschland zu beobachten Gelegenheit hatte, sind die vom 7. Januar 1831 und vom 18. October 1836. Ich selbst habe beide gesehen und danach einige Jahre später aus dem Gedächtniß die in Fig. 274 wiedergegebene Abbildung eines Nordlichtes entworfen.

Mit dieser Darstellung trifft der Hauptsache nach ein schönes Bild des Nordlichtes überein, welches der durch seine norwegischen Landschaften rühmlichst bekannte Maler August Becker von Darmstadt ausgeführt hat. Fig. 274 ist eine Copie jenes Bildes, welche auch von dem Farbenspiel dieses herrlichen Phänomens eine richtige Vorstellung geben kann. Es veranschaulicht diese Darstellung den Grundtypus der häufigsten Form, in welcher in Deutschland sowohl wie auch im südlichen Schweden und Norwegen die Nordlichter erscheinen.

Den gleichen Grundcharakter tägt endlich die Abbildung eines zu Loch Leven in Schottland beobachteten Nordlichtes, welche in der Schlußvignette dieses Capitels wiedergegeben ist.

In der Erscheinung des Nordlichtes findet eine große Mannigfaltigkeit Statt, und um diese dem Leser vorzuführen, dürfte es wohl am geeignetsten sein, die Beschreibung naturkundiger Männer anzuführen, welche das Nordlicht in höheren Breiten in seiner ganzen Pracht und Herrlichkeit zu beobachten Gelegenheit hatten.

Nach den von Argelander in Abo gemachten Erfahrungen verkündigt ein eigenthümliches, schmutziges Ansehen des nördlichen Himmels in der Nähe des Horizontes dem aufmerksamen und geübten Beobachter schon im Voraus das Erscheinen eines Nordlichtes. Bald wird die Farbe dunkler und es zeigt sich ein Kreissegment von geringerer oder größerer Ausdehnung mit einem leichten Saume eingefaßt. Dieses Segment hat vollkommen das Aussehen einer dunklen Wolkenbank. Eben dieses sagen auch andere Beobachter. Dieses dunkle Segment ist auch von solchen Beobachtern in Deutschland gesehen worden, welche auf das schöne Nordlicht vom 7. Januar 1831 frühzeitig genug aufmerksam wurden. In sehr hohen Breiten ist dieses Segment ganz unmerklich.

Auch Mairan in seinem »Traité des Aurores boreales«, Paris 1744 sagt, daß die großen Nordlichter kurz nach dem Ende der Dämmerung beginnen

Fig. 274.



und daß man dann gegen Norden hin einen ziemlich dunklen Nebel wahrnimmt. Dieser Nebel nimmt dann die Gestalt eines Kreissegmentes an, welches sich zu beiden Seiten auf den Horizont stützt. Der sichtbare Theil des Umfanges wird darauf von einem weißen Lichte gesäumt, aus welchem ein oder mehrere Lichtbogen entstehen, wozu dann endlich noch die verschiedenfarbigen, von dem dunklen Segmente ausgehenden Strahlen kommen.

Manchmal, wenn auch sehr selten, erscheint nur ein dunkles Segment in der Nähe des Randes symmetrisch durchbrochen, so daß man gleichsam eine Feuersbrunst durch die Oeffnungen wahrzunehmen glaubt, Fig. 275 (a. f. S.). Dieses eigenthümliche Meteor hat Mairan selbst am 19. October 1726 zu Brouelle-Pont beobachtet.

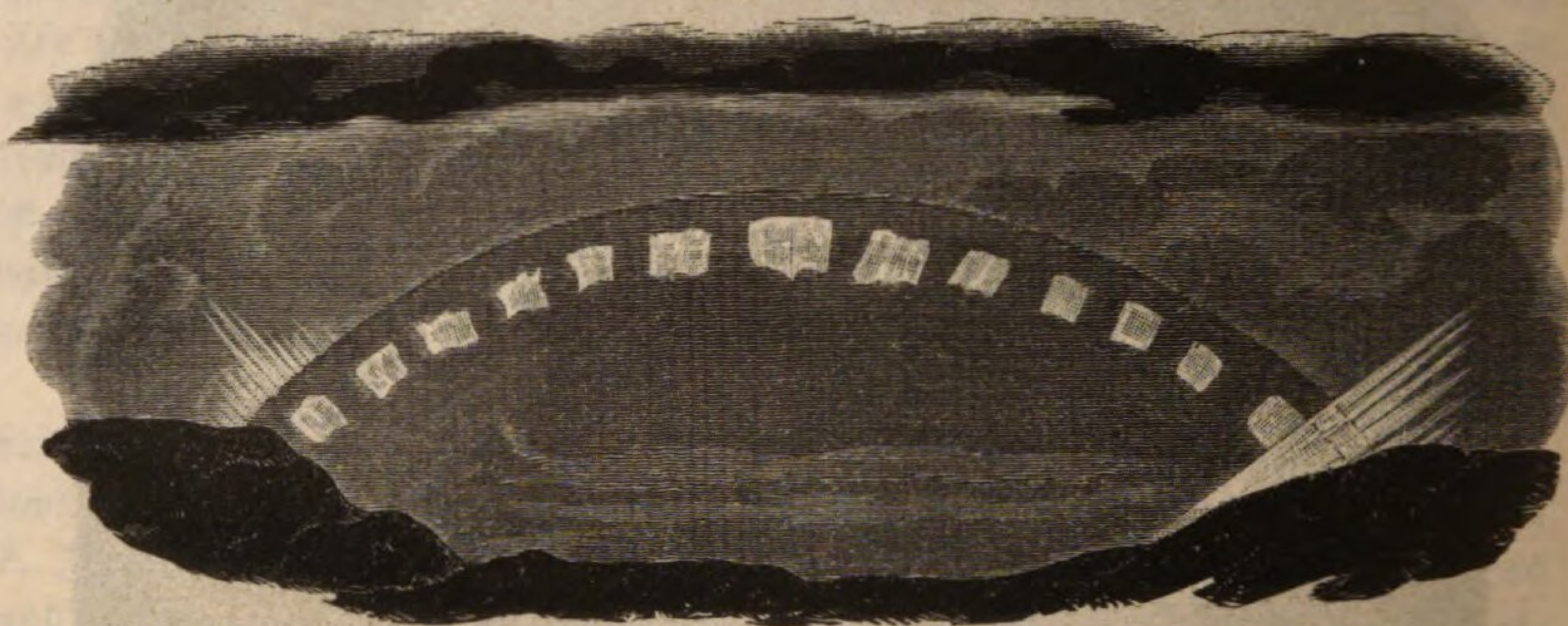
Durch dieses dunkle Segment hindurch kann man die helleren Sterne mit bloßem Auge sehen, eine Thatsache, welche bereits von älteren Beobachtern berichtet

und auch von neueren bestätigt worden ist. So sahen z. B. Kries in Gotha und Gerling in Marburg bei dem Nordlicht vom 7. Januar 1831 α lyrae hell durch das dunkle Segment strahlen.

Das eigentliche Wesen dieses dunklen Segmentes wird namentlich durch den zuletzt angeführten Umstand sehr räthselhaft; Einige, z. B. Struve, sind geneigt, es nur durch den Contrast zu erklären. Dieser Ansicht widerspricht aber die Thatsache, daß das Segment schon in der Dämmerung sichtbar wird, ehe noch eine Lichtentwickelung des Nordlichtes auftritt, und somit muß man wohl mit Argelander hier das Dasein einer wirklichen Materie annehmen.

Das dunkle Segment wird von einem meist bläulichweißen hellen Lichtbogen gesäumt, dessen Breite zwischen 1 bis 6 Vollmondbreiten schwankt. Ebenso verschieden wie die Breite ist auch die Ausdehnung des Saumes, welche zuweilen nur 25 bis 30, zu anderen Zeiten bis nahe 180 Grad beträgt; wonach dann auch die Höhe über dem Horizonte sehr verschieden ausfällt.

Fig. 275.



Der untere Rand dieses Bogens ist scharf begränzt, der obere nur, wenn er sehr schmal ist; wenn er breiter ist und verwaschen erscheint, so verbreitet er ein lebhaftes Licht und erhellt den ganzen Himmel eben so stark, wie der Vollmond eine halbe Stunde nach seinem Aufgange.

Bei sehr lebhaften Nordlichtern zeigen sich oft mehrere concentrische Lichtbogen.

Wenn der Lichtbogen einmal gebildet ist, so bleibt er oft mehrere Stunden lang sichtbar, er ist aber dabei in beständiger Bewegung. Er hebt und senkt sich, er dehnt sich aus nach Ost und nach West, er wird bald da, bald dort zerrissen. Diese Bewegungen werden besonders bemerklich, wenn das Nordlicht sich ausdehnt und Strahlen zu schießen beginnt. Der Bogen wird nun an irgend einer Stelle leuchtender und beginnt Strahlen zu schießen, welche unten gleichsam in das dunkle Segment einfressen. Die Breite dieser hell leuchtenden Strahlen ist ungefähr dem halben Monddurchmesser gleich. Solche Strahlen schießen mit der Schnelligkeit eines Blitzes empor, theilen sich oben; sie werden bald länger, bald kürzer, bewegen sich bald nach Ost, bald nach West, und krümmen sich wie

ein vom Winde bewegtes Band. Wenn diese in stetem Wechsel der Form, der Lage und des Glanzes befindlichen Strahlen sehr hell werden, so erscheinen sie bald in grünlichem, bald in tief rothem Lichte. Wenn die Strahlen kurz sind, so hat der Lichtbogen das Ansehen eines gezahnten Kammes.

Oefters ereignet es sich, daß die leuchtenden Strahlen, welche von allen Theilen des östlichen, nördlichen und westlichen Horizontes auflodern, bis über den Scheitel des Beobachters hinaus aufschießen und dann durch ihre Vereinigung eine glänzende Krone bilden, deren Mittelpunkt wennigstens im nördlichen Europa noch einige Grade südöstlich vom Zenith liegt. Bestimmt man die scheinbare Lage dieser Krone mit Hülfe eines astronomischen Instrumentes oder durch die Beobachtung der Sterne, die sich bei ihrem Entstehen in jener Gegend zeigen, so findet sich, daß der Mittelpunkt der Krone durch diejenige Stelle des Himmels gebildet wird, nach welcher das obere Ende einer im magnetischen Meridian frei beweglichen Inclinationsnadel hinweist.

Leider fehlen uns gute Abbildungen dieser in der Nähe des Zeniths sich bildenden Nordlichtskrone gänzlich; mir ist wenigstens keine solche bekannt. Es wäre in der That sehr zu wünschen, daß Naturforscher und Maler, welche Gelegenheit haben, diese nur in höheren Breiten sich zeigende Form des Nordlichtes zu beobachten, davon getreue Zeichnungen entwerfen und veröffentlichen möchten, um es auch solchen Freunden der Naturforschung zur Anschauung zu bringen, welchen es nicht vergönnt ist, dieses herrliche und seltene Phänomen selbst zu sehen.

Gehen wir nun zu der Beschreibung über, welche namhafte Naturforscher von den durch sie beobachteten Nordlichtern gegeben haben.

Beschreibung eines von Biot beobachteten Nordlichtes. Am 208
7. August 1817 hatte Biot Gelegenheit, auf den Shetländischen Inseln ein großes Nordlicht zu beobachten, von welchem er folgende Beschreibung giebt:

»Man erblickte zuerst in Nordost einige schmale Lichtstrahlen, die nicht hoch über den Horizont hinaufstiegen, und nachdem sie eine Zeitlang da gestanden hatten, verlöschten. Nach anderthalb Stunden erschienen sie wieder in derselben Himmelsgegend, aber viel stärker, glänzender und ausgedehnter. Bald fingen sie an, über dem Horizonte einen regelmäßigen Bogen nach Art des Regenbogens zu bilden. Anfangs war der Umkreis desselben nicht vollendet, aber nach und nach nahm er an Oeffnung und Weite zu, und nach einigen Augenblicken sah ich von Westen her die andere Hälfte ankommen, die sich in einem Augenblicke erhob, begleitet von einer Menge leuchtender Strahlen, die von allen Seiten des nördlichen Horizontes hinzuliefen. Dieser Bogen war anfangs schwankend und unentschieden, als habe sich die Materie, die ihn bildete, noch nicht fest und bleibend geordnet; aber bald kam er zur Ruhe und erhielt sich dann in seiner ganzen Schönheit über eine Stunde lang, wobei er nur eine fast unmerklich fortschreitende Bewegung nach Südost hatte, als wenn ihn der schwache Nordwestwind, welcher damals wehte, dorthin führte. Ich hatte daher volle Zeit, ihn mit Muße zu betrachten, und seine Lage mit dem Repetitionskreise, welcher mir

zu astronomischen Beobachtungen dient, zu bestimmen. Er umspannte einen Bogen des Horizontes von 128° 42′ und sein Mittelpunkt befand sich genau im magnetischen Meridian. Der ganze Himmelsraum, den dieser große Bogen nach Nordwest zu begränzte, wurde unaufhörlich von leuchtenden Strahlen durchfurcht, deren verschiedene Gestalten, Farben und Dauer meinen Geist nicht weniger als meine Augen beschäftigten.

»Gewöhnlich war jeder dieser Strahlen, wenn er anfing zu erscheinen, ein bloßer Strich weißlichen Lichtes; schnell aber nahm er an Größe und an Glanz zu, wobei er manchmal sonderbare Veränderungen in Richtung und Krümmung zeigte. Hatte er seine vollkommene Entwickelung erreicht, so verengte er sich zu einem dünnen, geradlinigen Faden, dessen in der Regel äußerst lebhaftes und glänzendes Licht von sehr bestimmter rother Farbe war, dann allmälig schwächer ward und endlich erlosch, häufig genau an der Stelle, wo der Strahl angefangen hatte zu erscheinen. Daß eine so große Menge Strahlen fortdauert, jeder an seinem scheinbaren Orte, während der Glanz derselben unendlich viele Abwechselungen erleidet, scheint zu beweisen, daß das Licht dieser Strahlen kein reflectirtes, sondern eigenes Licht ist, und sich an dem Orte selbst entwickelt, wo man es sieht; auch habe ich darin nicht die geringste Spur von Polarisation entdecken können, welche das reflectirte Licht charakterisirt.

»Alle diese Strahlen und der Bogen selbst befanden sich in einer größeren Höhe als die Wolken, denn diese bedeckten sie von Zeit zu Zeit, und die Ränder der Wolken schienen von ihnen erhellt zu sein. Auch der Mond, welcher damals hoch über dem Horizonte stand, erleuchtete dieses erhabene Schauspiel, und die Ruhe seines Silberlichtes bildete den sanftesten Contrast mit der lebhaften Bewegung der glänzenden Strahlengarben, mit welchen das Meteor die Luft übergoß.«

209 **Beschreibung des großen Nordlichtes von 1836.** Bessel giebt von dem schönen Nordlichte, welches am 18. October 1836 erschien, folgende Beschreibung: »Bald nach dem Untergange der Sonne zeigte sich, westlich von Norden, eine Helligkeit des Himmels, welche man einem Nordlichte zuschreiben konnte, zumal da ihre Mitte etwa in der Richtung des magnetischen Meridians lag, und da einige Tage vorher auch Nordlichter erschienen waren. Denn die Nordlichter haben meistentheils ihren Mittelpunkt in dieser Richtung, und es ist nicht ungewöhnlich, daß sie sich in kurzer Zeit wiederholen. Das erste Nordlicht, welches ich in diesem Herbste gesehen habe, war am 11., ein zweites erschien am 12. October. Jenes gehörte zu den schöneren, indem es häufige Strahlen über den Polarstern hinauftrieb; dieses erhob sich nur wenig über den Horizont und zeigte keine Strahlen. Das am 18. October erscheinende entwickelte sich so vollständig, daß es wenigstens für unsere Gegenden zu den sehr seltenen Erscheinungen gehört, und an die schöne Beschreibung von Maupertuis erinnert, den die Nordlichterpracht in Tornea entzückte, als er sich, jetzt gerade vor 100 Jahren, daselbst befand, um eine denkwürdige wissenschaftliche Unternehmung rühmlich auszuführen.

»Unser Nordlicht zeigte zunächst einen röthlichen Schimmer, welcher mehrere

Theile des nördlichen Himmels bedeckte, aber wenig lebhaft und von kurzer Dauer war. Dann strömte die Gegend um seinen Mittelpunkt herum häufige Strahlen aus, welche, wie es bei Nordlichtern gewöhnlich ist, in wenigen Augenblicken entstanden, fast bis zu dem Scheitelpunkte aufschossen, wieder verschwanden und durch neue ersetzt wurden. Diese Strahlen sind geraden Kometenschweifen durchaus ähnlich; oft drängen sich so viele zusammen, daß sie an die geraden Bäume eines dichten Tannenwaldes erinnern; ihr Licht pflegt nicht so lebhaft zu sein, daß so heller Mondschein, als der des 18. October war, die Schönheit ihres Anblickes und ihrer fortwährenden Aenderungen nicht beeinträchtigen sollte.

»Bis hierher war die Erscheinung von der des 11. October und von denen, die sich in diesen Gegenden zu gewissen Zeiten nicht selten zeigen, nicht wesentlich verschieden. Allein um $7^1/_4$ Uhr erschienen zwei Strahlen, welche sich sowohl durch ihre Lebhaftigkeit als auch durch die Himmelsgegenden, wo sie sich befanden, auszeichneten. Beide entstanden an entgegengesetzten Punkten des Horizontes, der eine etwa 15 Grad nördlich von Osten, der andere eben so weit südlich von Westen. Sie schossen in Richtungen aufwärts, welche südlich von dem Scheitelpunkte vorbeigingen. Sie hatten die Helligkeit hoher weißer, durch starkes Mondlicht erleuchteter Strichwolken. Man sah deutlich, daß die Ausströmung, welche sie erzeugte, kräftig unterhalten wurde, denn ihre Verlängerungen und Verkürzungen waren groß und schnell. Als diese Strahlen kaum entstanden waren, zeigte sich an dem nördlichen Rande jedes derselben ein Auswuchs; beide Auswüchse verlängerten sich und näherten ihre Enden, so daß sie bald zusammenstießen und nun einen Bogen bildeten, welcher beide Strahlen mit einander verband, und dessen höchster Punkt etwa 30 Grad nördlich von dem Scheitelpunkte lag. Dieser Bogen erschien, so wie die Strahlen, von welchen er ausging, in lebhaftem weißen Lichte, und würde vermuthlich einen noch weit schöneren Anblick gewährt haben, wenn nicht der Mond seinen Glanz geschwächt hätte. Indessen blieb er nicht lange Zeit in seiner anfänglichen Lage; er bewegte sich dem Scheitelpunkte zu, ging dann über ihn hinaus auf die Südseite und kam auf dieser bis zu einer Entfernung von 40 bis 45 Graden, wo er sich nach und nach wieder verlor. Ehe dieses geschah, nahm er auf der Westseite eine unregelmäßige Krümmung an und zeigte sich sehr auffallend schlangenförmig; auf der Ostseite blieb er bis zu seiner gänzlichen Auflösung regelmäßig gekrümmt.

»Nach der Verschwindung dieses Bogens zeigte das Nordlicht nur noch eine beträchtliche Helligkeit am nördlichen Himmel, welche, trotz des Mondscheins, oft bis zu der Höhe von 30 Graden wahrgenommen werden konnte. Hin und wieder schoß es einzelne blasse Strahlen aufwärts, welche jedoch mit keinen ungewöhnlichen Erscheinungen verbunden waren. Allein um $9^1/_2$ Uhr wurde sein Ansehen prachtvoll; die Nordhälfte des Himmels bedeckte sich mit einer rothen Farbe, welche so satt wurde, daß sie nur mit der Farbe des Karmins verglichen werden kann; dabei war ihr Licht so stark, daß es, trotz des Mondlichtes, sichtbaren Schatten verursachte. Diese Röthe des Himmels ging in Norden nicht bis zu dem Horizonte herab, sondern ein bogenförmiger Raum, dessen Scheitel etwa 30 Grad Höhe haben mochte, blieb ungefärbt.

»Ueber diesem freien Raume sah der Himmel aus, als würde er durch einen Vorhang von einem hochrothen, durchsichtigen Stoffe bedeckt. Hinter dem Vor=

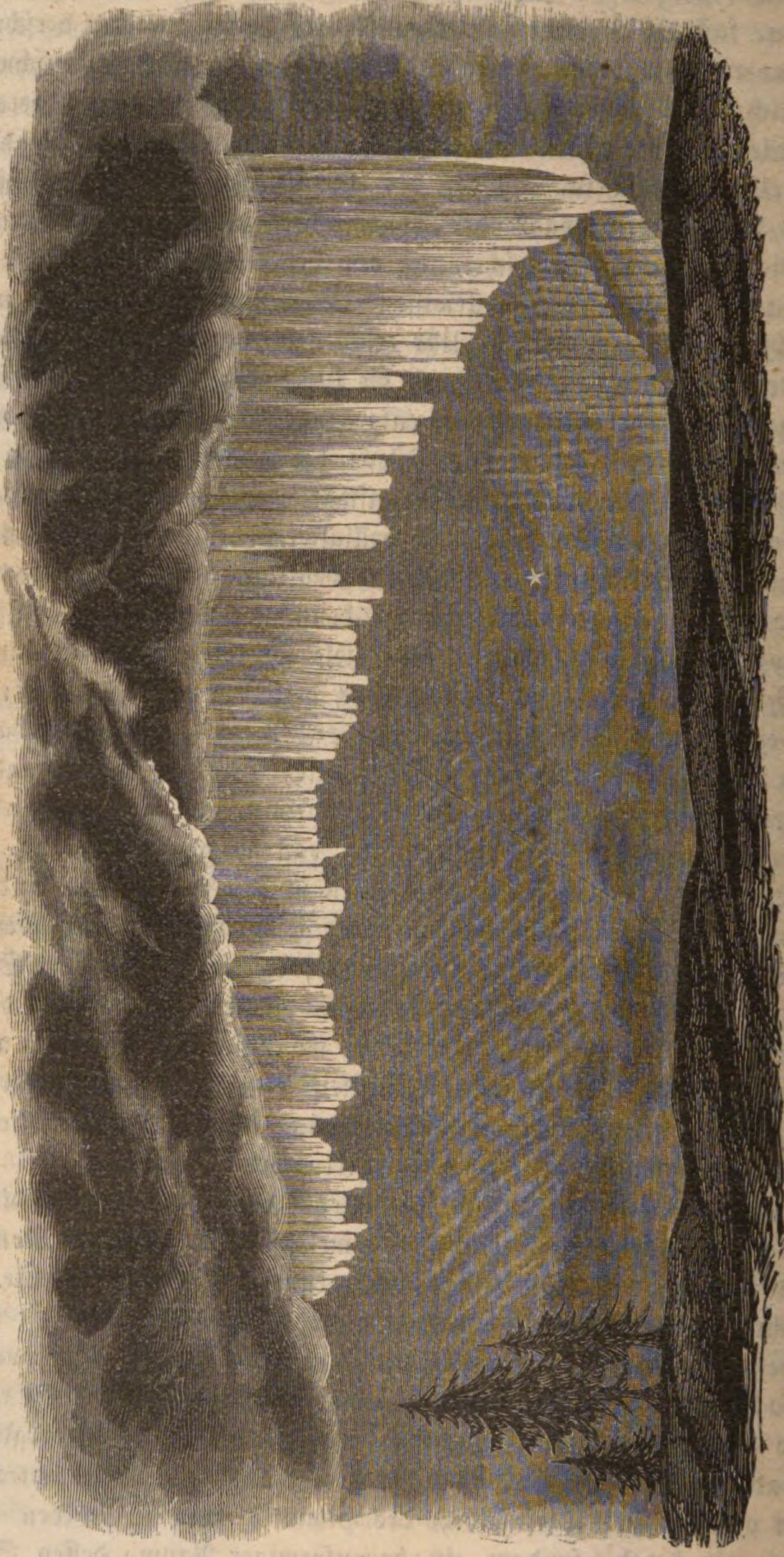


Fig. 276.

hange schossen blendend weiße Strahlen hervor, welche durch ihn hindurch schimmerten. Einige glänzende Sternschnuppen, welche sich an dem verhängten Theile des Himmels zeigten, vermehrten noch die Pracht und die Abwechselung der Scene.

»Etwa nach einer Viertelstunde trennte sich der rothe Vorhang, um den in der Richtung des magnetischen Nordens liegenden Theil des Himmels wieder in seiner gewöhnlichen Farbe erscheinen zu lassen. Der ungefärbte Raum vergrößerte sich nun nach beiden Seiten, und bald war keine rothe Farbe mehr, sondern nur noch eine Helligkeit am nördlichen Horizonte sichtbar.

»Zum Schlusse führe ich noch an, daß, nach Maupertuis, die hochrothe Farbe des Himmels auch in Tornea so selten vorkommt, daß allerlei Aberglauben daran geknüpft wird, daß aber alle anderen Färbungen häufig sind. Es scheint daher, daß unser Nordlicht selbst für höhere Breiten eine ungewöhnliche Erscheinung gewesen sein würde.«

Matteucci, welcher das Nordlicht vom 18. October 1836 zu Forli im

Fig. 277.



Kirchenstaate beobachtete, giebt davon folgende Beschreibung: »Es war 9 Uhr Abends, als ein schwach röthliches Licht sich gegen Norden hin zeigte. Es erstreckte sich auf eine Weite von 70 bis 80° und erhob sich zu 25 bis 30°. Seine Gestalt war in den unteren Partien kreisförmig; seine Entfernung vom Horizonte konnte 7 bis 8° betragen. 23 Minuten nach seinem ersten Hervortreten nahm das Licht eine lebhafte Purpurfarbe an, eine dunklere centrale Linie, welche man darin bemerkte, ging nach Westen. Die Erscheinung verschwand durch allmäliges Erblassen.«

Beschreibung der von Lottin zu Bossekop beobachteten Nordlichter. Der Schiffslieutenant Lottin, Mitglied einer der nach dem Norden ausgesendeten wissenschaftlichen Expeditionen, hatte während des Winters von 1838 auf 1839 Gelegenheit, die Erscheinung des Nordlichtes zu Bossekop, im norwegischen Amte Finnmarken, unter dem 70. Grade nördlicher Breite, zu beobachten. 210

Bossekop liegt an einem vielbuchtigen Fiord, in welches sich das Flüßchen Alten ergießt, umgeben von Tannenwäldern und Schneebergen, deren Kamm sich zu einer Höhe von 5 bis 7° über den Horizont erhebt.

Vom September 1838 bis zum April 1839, in einem Zeitraume von 206 Tagen, beobachtete man daselbst 143 Nordlichter, und zwar 64 während der längsten Nacht, welche in jenen Gegenden vom 17. November bis zum 25. Januar dauert. Lottin beschreibt das Phänomen in folgender Weise.

»Des Abends zwischen 4 und 8 Uhr färbt sich der obere Theil des leichten Nebels, welcher fast beständig nach Norden hin in einer Höhe von 4 bis 6° herrscht; dieser lichte Streifen nimmt allmälig die Gestalt eines Bogens von blaßgelber Farbe an, dessen Ränder verwaschen erscheinen und dessen Enden sich auf die Erde aufstützen.

»Dieser Bogen steigt allmälig in die Höhe, während sein Gipfel stets nahe in der Richtung des magnetischen Meridians bleibt.

»Bald erscheinen schwärzliche Streifen, welche den lichten Bogen trennen, und so bilden sich Strahlen, welche sich bald rasch, bald langsam verlängern oder verkürzen. Der untere Theil dieser Strahlen zeigt immer den lebhaftesten Glanz und bildet einen mehr oder weniger regelmäßigen Bogen. Die Länge der Strahlen ist sehr verschieden, sie convergiren aber nach einem Punkte des Himmels, welcher durch die Richtung des Südendes der Inclinationsnadel angedeutet ist. Manchmal verlängern sich die Strahlen bis zu diesem Punkte und bilden so ein Bruchstück eines ungeheuren Lichtgewölbes.

»Der Bogen fährt fort, gegen das Zenith hin zu steigen; in seinem Glanze zeigt sich eine undulatorische Bewegung, d. h. der Glanz der Strahlen wächst der Reihe nach von einem Fuße zum anderen; diese Art Lichtstrom zeigt sich oft mehrmals hinter einander, aber häufiger von Westen nach Osten als in entgegengesetzter Richtung. Manchmal, aber selten, folgt die rückgängige Bewegung unmittelbar auf die erste, und wenn der Glanz der Reihe nach alle Strahlen von Westen nach Osten durchlaufen hat, nimmt seine Bewegung eine entgegengesetzte Richtung an und kehrt zu seinem Ausgangspunkte zurück, ohne daß man eigentlich recht sagen kann, ob die Strahlen selbst eine horizontale Verrückung erleiden, oder ob sich der Glanz von Strahl zu Strahl fortpflanzt, ohne daß die Strahlen ihre Stelle verändern.

»Der Bogen zeigt auch in horizontaler Richtung eine Bewegung, welche den Undulationen oder Biegungen eines vom Winde bewegten Bandes oder einer Fahne nicht unähnlich ist. Manchmal verläßt einer der Füße oder selbst beide den Horizont; dann werden diese Biegungen zahlreicher und deutlicher; der Bogen erscheint nur als ein langes Strahlenband, welches sich entwickelt, sich in mehrere Theile trennt und graziöse Windungen bildet, welche sich fast selbst schließen und das bilden, was man wohl die Krone genannt hat. Alsdann ändert sich plötzlich die Lichtintensität der Strahlen, sie übertrifft die der Sterne erster Größe; die Strahlen schießen mit Schnelligkeit, die Biegungen bilden und entwickeln sich, wie die Windungen einer Schlange; nun färben sich die Strahlen, die Basis ist roth, die Mitte grün, der übrige Theil behält ein blaßgelbes Licht.

Diese Farben behalten immer ihre gegenseitige Lage und haben eine bewunderns=würdige Durchsichtigkeit. Das Roth nähert sich einem hellen Blutroth, das Grün einem blassen Smaragdgrün.

»Der Glanz nimmt ab, die Farben verschwinden, die ganze Erscheinung erlischt entweder plötzlich, oder sie wird nach und nach schwächer. Einzelne Stücke des Bogens erscheinen wieder, er bildet sich von Neuem, er setzt seine aufstei=gende Bewegung fort und nähert sich dem Zenith; die Strahlen erscheinen durch die Perspective immer kürzer, alsdann erreicht der Gipfel des Bogens das mag=netische Zenith, einen Punkt, nach welchem die Südspitze der Inclinationsnadel hinweist. Nun sieht man die Strahlen von ihrem Fuße aus. Wenn sie sich in diesem Augenblicke färben, so zeigen sie ein breites rothes Band, durch welches hindurch man die grüne Färbung der oberen Theile erblickt.

»Unterdessen bilden sich neue Bogen am Horizonte, welche entweder anfangs verschwommen erscheinen, oder durch lebhafte Strahlen gebildet sind. Sie fol=gen einander, indem alle fast dieselben Phasen durchlaufen und in bestimmten Zwischenräumen von einander bleiben; man hat deren bis zu 9 gezählt, welche, auf die Erde gestützt, durch ihre Anordnung an die oberen Coulissen unserer Theater erinnern, die, auf die Seitencoulissen gestützt, den Himmel der Theater=scene bilden. Manchmal werden die Zwischenräume kleiner, mehrere dieser Bo=gen drängen einander. — So oft die Strahlen am hohen Himmel das mag=netische Zenith überschritten haben, scheinen sie von Süden her nach diesem Punkte zu convergiren und bilden alsdann mit den übrigen von Norden kom=menden die eigentliche Krone. Die Erscheinung der Krone ist ohne Zweifel nur eine Wirkung der Perspective, und ein Beobachter, welcher in diesem Augenblicke weiter nach Süden hin sich befindet, wird sicherlich nur einen Bogen sehen können. —

»Denkt man sich nun ein lebhaftes Schießen von Strahlen, welche beständig sowohl in Beziehung auf ihre Länge, als auf ihren Glanz sich ändern, daß sie die herrlichsten rothen und grünen Farbentöne zeigen, daß eine wellenartige Bewegung stattfindet, daß Lichtströme einander folgen und endlich, daß das ganze Himmelsgewölbe eine ungeheure prächtige Lichtkuppel zu sein scheint, welche über einen mit Schnee bedeckten Boden ausgebreitet ist und einen blendenden Rahmen für das ruhige Meer bildet, welches dunkel ist wie ein Asphaltsee, so hat man eine unvollständige Vorstellung von diesem wunderbaren Schauspiele, auf dessen Beschreibung man verzichten muß.

»Die **Krone** dauert nur einige Minuten; sie bildet sich manchmal plötzlich, ohne daß man vorher einen Bogen wahrnahm. Selten sieht man zwei in einer Nacht, und viele Nordlichter zeigen keine Spur davon.

»Die Krone wird schwächer, das ganze Phänomen ist nun südlich vom Zenith, immer blassere Bogen bildend, welche in der Regel verschwinden, ehe sie den südlichen Horizont erreichen. Gewöhnlich beobachtet man dies Alles nur in der ersten Hälfte der Nacht; nachher scheint das Nordlicht seine Intensität verloren zu haben, die Strahlen scheinen verwaschen, sie bilden schwache, unbe=stimmt begränzte Lichtschimmer, welche endlich, kleinen Cumulus ähnlich, auf

dem Himmel gruppirt sind. — Allmälig erscheint die Morgenröthe, die Erscheinung wird immer schwächer und endlich ganz unsichtbar.

»Manchmal sieht man die Strahlen noch, wenn der Tag schon angebrochen, wenn es schon so hell ist, daß man lesen kann; dann aber verschwinden sie schnell, oder sie werden vielmehr um so unbestimmter, je mehr die Helligkeit zunimmt, sie nehmen eine weißliche Farbe an und vermischen sich so mit den Cirrostratus, daß man sie nicht mehr von diesen Wolken unterscheiden kann.«

Die Figuren 276 und 277 stellen zwei zu Bossekop beobachtete Nordlichter dar.

211 **Beziehungen des Nordlichtes zum Erdmagnetismus.** Das Nordlicht, welches Humboldt sehr bezeichnend ein magnetisches Gewitter nennt, steht, wie bereits bemerkt wurde, in mannigfacher Beziehung zum Erdmagnetismus. So haben wir bereits gesehen, daß der Gipfel des Nordlichtbogens im magnetischen Meridian liegt, und daß der Mittelpunkt der Nordlichtskrone derjenige Punkt des Himmelsgewölbes ist, nach welchem das Südende der Inclinationsnadel hinweist. Dazu kommt aber noch, daß während eines Nordlichtes die Declinationsnadel in ungewöhnlich starke Schwankungen geräth. Dieser Umstand wurde bereits im Jahre 1740 von Celsius und Hiorter entdeckt. Durch Vergleichung von Beobachtungen der Magnetnadel, welche gleichzeitig an sehr entfernten Orten, wie zu Upsala und zu London, gemacht worden waren, fand sich, daß dieselben Bewegungen der Magnetnadel sich an beiden Orten, und zwar um so stärker geäußert hatten, je lebhafter und je weiter verbreitet am Himmel das Nordlicht gewesen war.

Während des großen Nordlichtes vom 7. Januar 1831 wuchsen die täglichen Variationen der Magnetnadel zu Paris bis auf 1° 16,5′.

Hansteen beschreibt den Einfluß der Nordlichter auf die Magnetnadel in folgender Weise: »Ist das Nordlicht lebhaft, so wird die Abweichungsnadel unruhig, sie weicht in Zeit von wenigen Minuten um 3, 4, ja um 5 Grad von ihrer gewöhnlichen Stellung ab und hat zuweilen eine sehr veränderliche Bewegung, zum Beweise, daß in dieser Zeit die Magnetkräfte der Erde in großer Unruhe sind. Kurz vor dem Erscheinen des Nordlichtes kann die Intensität des Erdmagnetismus bis zu einer ungemeinen Höhe steigen; sobald aber das Nordlicht beginnt, nimmt die Intensität des Erdmagnetismus in demselben Verhältniß ab, in welchem das Nordlicht lebhafter wird, indem er seine frühere Stärke nur successiv, oft erst nach Verlauf von 24 Stunden wieder erhält. — Die Nordlichter scheinen demnach eine Lichtentwickelung zu sein, welche die Entladung des ungewöhnlich stark angehäuften Erdmagnetismus begleitet.«

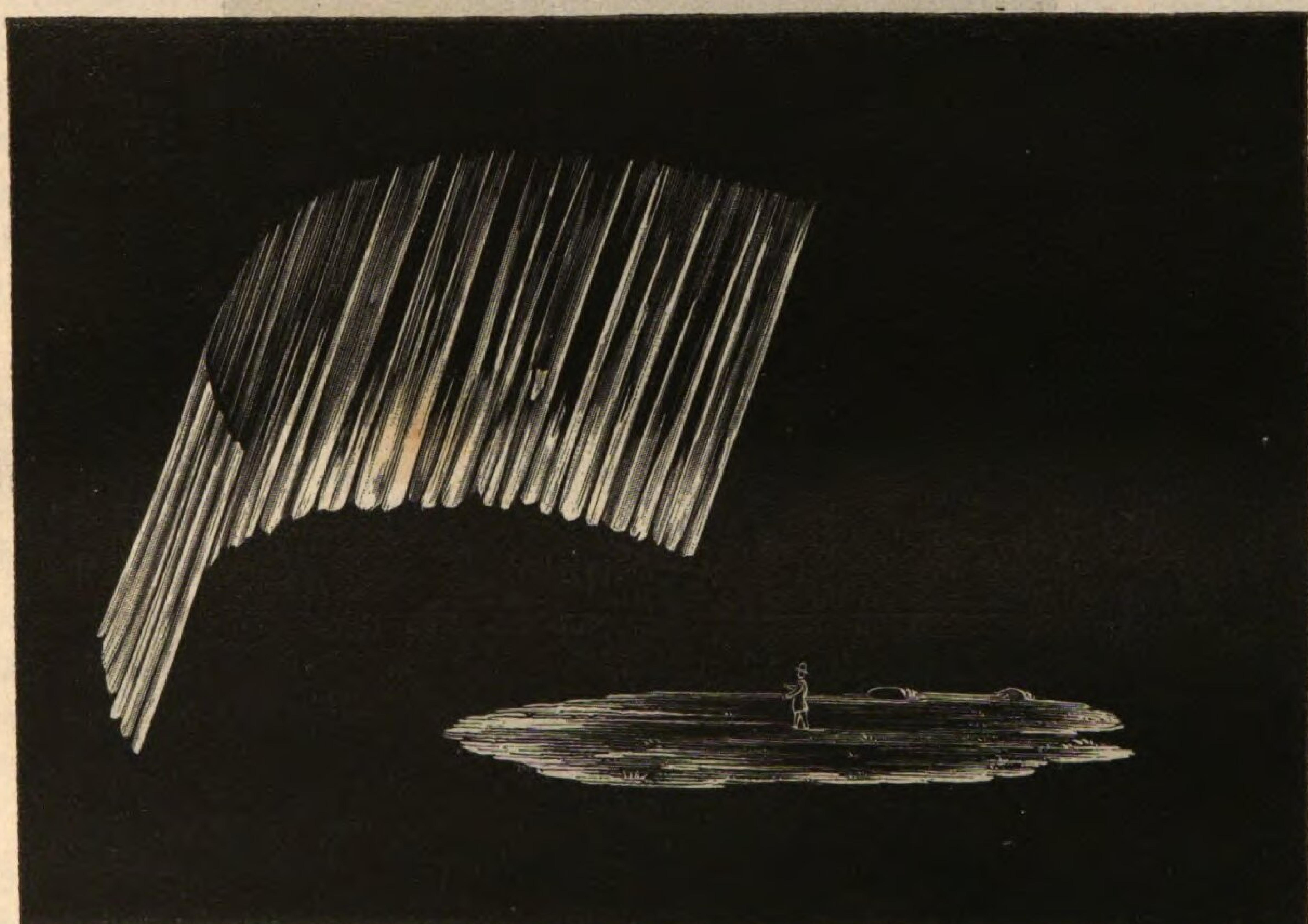
Eine ungewöhnliche Unruhe der Magnetnadel erstreckt sich aber nicht allein auf diejenigen Gegenden, in welchen das Nordlicht selbst sichtbar ist, sondern sie wird noch an Orten beobachtet, welche dem Schauplatze des Nordlichtes mehr oder weniger fern sind, so daß man aus bedeutenderen Störungen der Magnetnadel wohl stets auf ein, wenn auch nur in entfernteren Gegenden sichtbares Nordlicht schließen kann. Arago hat diesem Umstand eine ganz besondere Aufmerksamkeit zugewendet. (F. Arago's sämmtliche Werke, 4. Bd.)

Am unzweifelhaftesten ergiebt sich die Beziehung des Nordlichtes zum Erd-

magnetismus, wenn man sucht die wahre Lage der Nordlichtstrahlen zu ermitteln. Eine genauere Prüfung führt nämlich stets zu dem Resultat, daß diese Strahlen mit der Richtung der Neigungsnadel zusammenfallen, d. h. daß die wahre Richtung der Strahlen dieselbe ist, wie diejenige, welche eine an ihre Stelle gebrachte nach allen Seiten hin frei bewegliche Neigungsnadel annehmen würde. Die verschiedenen Formen, unter welchen das Nordlicht erscheint, erklären sich, nachdem einmal diese Thatsache festgestellt ist, ganz einfach aus der verschiedenen Gruppirung dieser Strahlen und der Stellung, welche der Beobachter gegen eine solche Strahlengruppe einnimmt.

Die Gestaltung des Nordlichtes, wie sie in Deutschland und im südlichen Theile von Schweden wenigstens am häufigsten beobachtet wird, erklärt sich, wenn man annimmt, daß die Strahlen, deren Neigung gegen den Horizont in den genannten Gegenden ungefähr 70 Grad beträgt, zu einem großen Bogen geordnet sind, gegen welche der Beobachter ungefähr die in Fig. 278 ange-

Fig. 278.



deutete Stellung einnimmt. Der leuchtende Bogen entsteht dadurch, daß in jener Gegend dicht gedrängt eine Reihe kürzerer Strahlen sich findet.

Rücken die Strahlen bis über das Zenith des Beobachters hinaus, so daß der Beobachter ungefähr die Stellung Fig. 279 (a. f. S.) gegen die Strahlengruppe einnimmt, so erblickt er die Nordlichtskrone.

In den Polarregionen nähert sich die wahre Richtung der Nordlichtstrahlen mehr der Verticalen; für Bossekop z. B. beträgt der Winkel, welchen sie mit dem Horizont machen, 80°, und so erklärt sich leicht die für den Beschauer fast

verticale Richtung derselben, wie wir sie in Fig. 276 und Fig. 277 kennen lern=

Fig 279.



ten, wenn der Beobachter gegen die Strahlenbündel eine Stellung einnimmt, wie sie in Fig. 280 angedeutet ist.

Fig. 280.



Höhe, Ausdehnung und geographische Verbreitung der Nordlichter. Die älteren Naturforscher waren der Ansicht, daß der Sitz der Nordlichter noch über den Gränzen der Atmosphäre zu suchen sei. Diese Ansicht war jedenfalls eine irrige. Wenn das Nordlicht sich außerhalb unserer Atmosphäre befände, so könnte es an der täglichen Umdrehung der Erde keinen Antheil nehmen, es müßte also die scheinbare tägliche Bewegung des Fixsternhimmels theilen, was entschieden nicht der Fall ist; im Gegentheil verhält sich das Nordlicht gegen das Himmelsgewölbe durchaus wie ein irdischer Gegenstand; es ist also keinem Zweifel unterworfen, daß sich das Nordlicht innerhalb unserer Atmosphäre bildet. 212

Aber welches ist seine Höhe über der Erdoberfläche? Um diese Frage zu beantworten, verglich man die scheinbare Höhe, in welcher der Gipfelpunkt des Lichtbogens eines und desselben Nordlichtes von verschiedenen, an mehr oder weniger weit von einander entfernten, wo möglich auf demselben magnetischen Meridian liegenden Orten, befindlichen Beobachtern gesehen wurde. Dergleichen Bestimmungen führten nun zu sehr verschiedenen Resultaten, was sehr begreiflich ist, wenn man bedenkt, daß es sehr zweifelhaft ist, ob die verschiedenen Beobachter eines und desselben Nordlichtbogens bei ihren Messungen wirklich denselben Punkt einvisirt und gleichzeitig gemessen haben. Daher kommt es auch, daß sich sogar für ein und dasselbe an sehr vielen Orten beobachtete Nordlicht sehr verschiedene Höhen ergeben, je nachdem man diese oder jene Beobachtungen mit einander combinirt.

So findet z. B. Hansteen für das Nordlicht vom 7. Januar 1831 die Höhe von 26 geographischen Meilen, indem er die Messungen der scheinbaren Höhe des Bogens von Berlin und Christiansand in Norwegen combinirt, während Christie aus verschiedenen in England angestellten Beobachtungen desselben Nordlichtes eine Höhe von 5 bis 25 englischen Meilen berechnet.

Die Bestimmungen neuerer Physiker weisen den Nordlichtern eine weit geringere Höhe an, als man früher annahm. Nach Mairan sollte die mittlere Höhe der Nordlichter 120, nach Cavendish (1790) soll sie 60, und nach Dalton (1828) nur 18 geographische Meilen betragen.

Farquharson endlich macht es wahrscheinlich, daß die Nordlichter, wie dies auch schon früher z. B. von Wrangel ausgesprochen worden ist, bis in die Region der Wolken heruntergehen; er stützt sich dabei unter Anderem auf eine Nordlichtsbeobachtung vom 20. December 1829. Er sah nämlich von $8^1/_2$ bis 11 Uhr Nachts zu Alford in Aberdeenshire ein sehr glänzendes Nordlicht über einer dichten Wolkenmasse, welche die Spitzen der nördlich von seiner Wohnung liegenden Correnhügel bedeckte. Obgleich der übrige Theil des Himmels heiter war, so stieg das Nordlicht doch nie höher als 20°. Gleichzeitig sah der Prediger Paull zu Tullyneßle, welches zwei englische Meilen nördlich von Alford in einem engen Seitenthale der erwähnten Hügelreihe liegt, um $9^1/_4$ Uhr Abends das Nordlicht sehr hell in der Nähe des Zeniths. Demnach würde die Höhe dieses Nordlichts höchstens 4000 Fuß betragen haben.

Diese Ansicht wird nun auch durch vielfache in neuerer Zeit in den Polargegenden gemachte Beobachtungen unterstützt, und namentlich auch von Parry, Franklin, Hood und Richardson vertreten. Franklin beobachtete Nordlichter, welche zwischen einer Wolkenschicht und der Erde befindlich waren und welche die untere Fläche dichter Wolken erleuchteten.

So viel ist gewiß, daß sich das Phänomen des Nordlichtes in sehr verschiedenen Höhen bildet, daß sie aber schwerlich je über eine Höhe von 20 Meilen hinausgehen.

Ein Umstand, welcher gleichfalls dafür sprechen dürfte, daß sich die Nordlichter häufig wenigstens in sehr geringen Höhen bilden, ist das Geräusch, welches manchmal ihre Erscheinung begleiten soll. Dieses Geräusch wird von Einigen mit demjenigen verglichen, welches entsteht, wenn ein Stück Seidenzeug über einander gerollt wird, von Anderen, wie Parrot, mit dem Geräusch der stark vom Winde getriebenen Flamme einer Feuersbrunst. In Sibirien soll, wie Gmelin erzählt wurde, das Nordlicht oft mit so heftigem Zischen, Platzen und Rollen verbunden sein, daß man ein Feuerwerk zu hören glaubt, und daß sich die Hunde der Jäger, von solchen Nordlichtern überfallen, vor Angst auf den Boden legten.

Von anderer Seite wird aber die Existenz eines solchen Geräusches vielfach bezweifelt. Mehrere Beobachter, welche häufig in Schweden und Norwegen Gelegenheit hatten, das Phänomen des Nordlichtes zu beobachten, versichern, nie das geringste Geräusch gehört zu haben. So sagt Wrangel von seinem Aufenthalt an den Küsten des sibirischen Eismeeres: Wir hörten beim Erscheinen der Säulen kein Krachen, überhaupt kein Geräusch. Nur wenn ein Nordlicht eine große Intensität hatte, wenn die Strahlen sich oft nach einander bildeten, däuchte es uns, als höre man Etwas, wie ein schwaches Blasen des Windes in die Flamme. Parry, welcher bei seinem mehrmaligen Aufenthalte in den Polargegenden sehr oft die Erscheinung des Nordlichtes beobachtete, und Franklin, welcher am Bärensee deren 343 sah, versichern, nie ein Geräusch gehört zu haben, und sind der Meinung, daß das, was man für ein Geräusch des Nordlichtes hielt, wohl nichts als das Rauschen des Windes selbst oder das Krachen des in den hellen kalten Nordlichtnächten berstenden Eises gewesen sei.

Die in geringen Höhen sich bildenden Nordlichter, wie sie in den Polarregionen öfters vorkommen, sind auch nur in geringen Entfernungen sichtbar. So führt Hood ein Nordlicht an, welches er am 2. April 1820 in Cumberland-House (im britischen Nordamerika, auf den Isothermenkarten verzeichnet) als einen glänzenden Bogen in 10° Höhe beobachtete, und von welchem man 55 englische Meilen südwestlich nichts wahrnahm; und ein anderes Nordlicht, welches am 6. April mehrere Stunden im Zenith von Cumberland-House stand, erschien 100 englische Meilen südwestlich nur noch als ein ruhiger ungefähr 9° hoher Bogen.

Bei uns werden nur solche Nordlichter sichtbar, welche sich zu größerer Höhe erheben.

Während die Sichtbarkeit der meisten in den Polargegenden sich bildenden

Nordlichter nur auf einen geringeren Umkreis beschränkt bleibt, gewinnt manchmal das Phänomen des Nordlichtes eine überraschende Ausdehnung. So war z. B. das schöne Nordlicht vom 7. Januar 1831 im ganzen nördlichen und mittleren Europa, sowie auch am Eriesee in Nordamerika sichtbar. In solchen Fällen ist es klar, daß man an weit entfernten Orten nicht dieselben leuchtenden Strahlen sah, daß man also in dem eben angeführten Falle am Eriesee eine andere Partie des Phänomens wahrnahm als in Europa. Wahrscheinlich hatte sich damals ein ungeheurer Strahlenkamm gebildet, welcher, ungefähr der Richtung eines magnetischen Parallels folgend, mit oder ohne Unterbrechung vom Eriesee über den atlantischen Ocean bis nach Norwegen und Schweden hinzog.

In den südlichen Polarregionen bildet sich ein ähnliches Lichtphänomen wie das, welches wir bisher besprochen haben, und welches man mit dem Namen des Südlichtes bezeichnet hat. Solche Südlichter sind von verschiedenen Seefahrern und namentlich von Cook gesehen und beschrieben worden.

Man hat die Nord- und die Südlichter mit dem gemeinsamen Namen der Polarlichter bezeichnet.

Eine sehr merkwürdige Thatsache ist es, daß sehr oft Nord- und Südlichter zu gleicher Zeit erscheinen. So wurden z. B. im Jahre 1783 zu Rio Janeiro Südlichter gesehen, während gleichzeitig auf der nördlichen Hemisphäre Nordlichter beobachtet wurden. Dasselbe gilt für viele der Südlichter, von welchen Cook berichtet. Er sah Südlichter am 18., 21. und 25. Februar und am 16. März 1773, während van Swinden von Nordlichtern berichtet, welche er an denselben Tagen zu Franecker in Friesland gesehen hat.

Fig. 281.



Alphabetisches Inhaltsverzeichniß.

A.

B.

C.

D.

E.

F.

T.

U.

V.

W.

Z.

Braunschweig. **PROSPECTUS.** Januar 1856.

Grundriß der Physik und Meteorologie.

Für Lyceen, Gymnasien, Gewerbe- und Realschulen, sowie zum Selbstunterrichte.

Von

Dr. Joh. Müller,

Professor der Physik und Technologie an der Universität zu Freiburg im Breisgau.

Mit 533 in den Text eingedruckten Holzschnitten.

Fünfte vermehrte und verbesserte Auflage.

gr. 8. Fein Velinpap. geh. Preis 1 Thlr. 16 Sgr.

Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn in Braunschweig.

Je mehr es anerkannt wird, wie sehr die Naturwissenschaften neben ihrer praktischen Wichtigkeit auch von hoher Bedeutung für die geistige Bildung sind; je mehr man den naturwissenschaftlichen Unterricht in allen Lehranstalten zu heben sucht, um so nothwendiger wird es, durch passende Lehrbücher die Vorträge des Lehrers zu unterstützen.

Ein den Bedürfnissen des physikalischen Unterrichtes an Lyceen, Gymnasien, Gewerbe- und Realschulen entsprechendes Lehrbuch zu schreiben, war das Ziel, welches ich bei Ausarbeitung eines »Grundrisses der Physik und Meteorologie« vor Augen hatte.

Dieses Werkchen erscheint nun in einer fünften Auflage.

Wenn auch die Eintheilung und der Gang in dieser neuen Auflage des Grundrisses ungeändert geblieben sind, so sind doch alle Capitel sorgfältig überarbeitet worden. Namentlich war ich, wie schon bei der vierten, so auch bei der fünften Auflage besonders bemüht, durch präcisere Fassung theils an Klarheit und Uebersichtlichkeit, theils an Raum zu gewinnen, und so kommt es, daß trotz eines bedeutenden Zuwachses an Material der Umfang dieser neuen Auflage nicht größer ist als der der früheren war.

Der Grundriß der Physik und Meteorologie trägt die Grundgesetze der Naturlehre in möglichst allgemein verständlicher Form und in einer dem jetzigen Standpunkte der Wissenschaft entsprechenden Weise vor. Soll der naturwissenschaftliche Unterricht den vollen Nutzen gewähren, welchen man von ihm zu verlangen berechtigt ist, so reicht es nicht hin, daß der Schüler die einzelnen Thatsachen und Gesetze kennen lerne; er muß auch in den Geist der in-

ductiven Wissenschaften, der physikalischen Methode eingeführt werden. Deshalb war es nöthig, die wichtigsten Gesetze nicht allein aufzuzählen und verständlich zu machen, sondern auch ihre Verknüpfung mit den entsprechenden Erscheinungen, ihre Ableitung aus denselben gründlich nachzuweisen. Dadurch aber, daß mit Ausschluß von Specialitäten die Fundamentalerscheinungen und die aus ihnen entwickelten Gesetze in dem Buche mit genügender Ausführlichkeit abgehandelt werden, suchte ich diesen Grundriß nicht allein dem Bedürfnisse der genannten Lehranstalten anzupassen, sondern es auch möglich zu machen, daß er jüngeren Pharmaceuten, Forstmännern, Landwirthen, Gewerbetreibenden u. s. w. als ein Buch für den ersten Unterricht genügen könne.

Außer den Forderungen einer wissenschaftlichen Methode habe ich auch vorzugsweise die praktischen Anwendungen physikalischer Kräfte berücksichtigt und namentlich den Dampfmaschinen, den elektrischen Telegraphen u. s. w. eine besondere Aufmerksamkeit gewidmet.

Schon bei den älteren Auflagen dieses Grundrisses war den Figuren die größte Sorgfalt zugewendet worden, in dieser Hinsicht übertrifft aber die fünfte Auflage bei weitem alle früheren, indem die meisten Figuren theils nach neuen Zeichnungen, theils nach Photographien neu gestochen worden sind und zwar, wo es die Deutlichkeit wünschenswerth machte, in größerem Maßstabe. Wenn die Anzahl der Figuren in dieser Auflage etwas geringer erscheint als in der vierten, so ist dies nur scheinbar, denn es rührt daher, daß es bei der Wellenlehre vortheilhaft erschien, immer mehrere Demonstrationsfiguren in eine einzige zu vereinigen. So sind z. B. die Figuren 191 bis 195 der dritten Auflage auf einer und derselben Platte zusammengestellt worden; statt mehrerer kleinen und undeutlichen Darstellungen der Handluftpumpe ist eine größere und deutlichere gegeben worden u. s. w. Die Verlagshandlung, überhaupt durch treffliche Ausstattung ihrer Werke rühmlichst bekannt, hat auch bei dieser neuen Auflage des Grundrisses mein Streben, durch gute Abbildungen das Verständniß der vorgetragenen Disciplinen möglichst zu erleichtern, auf das bereitwilligste unterstützt.

Freiburg, im October 1855.

Dr. Joh. Müller.

Mit Bezugnahme auf die vorstehenden Worte des Herrn Verfassers bemerkt der Verleger, daß er den Preis des Buches so niedrig gestellt hat, als es die zahlreichen und sehr schönen Abbildungen (533) irgend gestatten. Um die allgemeinste Einführung des trefflichen Werkes in den Lehranstalten noch mehr zu erleichtern, ist er auf $1^2/_3$ Thlr. ermäßigt (der frühere Preis war 2 Thlr.) und wird auf sechs auf einmal bezogene Exemplare ein Frei-Exemplar gegeben.

Braunschweig, im Januar 1856.

Friedrich Vieweg und Sohn.
Eduard Vieweg.

Braunschweig. **PROSPECTUS.** *Januar* 1856.

Die physikalische Technik

oder

Anleitung

zur Anstellung von

physikalischen Versuchen

und zur

Herstellung von physikalischen Apparaten

mit

möglichst einfachen Mitteln.

Von

Dr. J. Frick,

Professor,

Vorstand der höheren Bürgerschule zu Freiburg im Breisgau und Lehrer der Physik am Lyceum daselbst.

Zweite vermehrte und verbesserte Auflage.

Mit 810 in den Text eingedruckten Holzschnitten. gr. 8°. Fein Velinpapier. Geh. Preis 2 Thlr. 12 Sgr.

Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn.

Gründlicher Unterricht in der Naturlehre ist nur dann möglich, wenn derselbe durch Versuche unterstützt wird; ja es ist sogar für jeden, der die Lehren der Physik vollkommen verstehen will, nothwendig, daß er sich damit abgebe, die einschlagenden Versuche selbst anzustellen, wenigstens soweit sie die Grundlehren der Physik betreffen. Sollen aber solche Versuche gelingen, so setzt dieses genaue Kenntniß der Apparate und die Beobachtung von mancherlei Vorsichtsmaßregeln voraus, und diese werden darum von den Naturforschern, wenn sie neue Versuche bekannt machen, auf das Sorgfältigste angegeben. Aber jene Versuche, welche zur Erläuterung längst bekannter, in die Lehrbücher übergegangener Gesetze dienen, so wie die Behandlung und Herstellung der dazu erforderlichen Apparate findet man gewöhnlich entweder gar nicht oder doch nur mangelhaft beschrieben. Es kann dieses auch nicht wohl Sache eines Lehrbuches der Physik sein, und doch ist es für jeden, der entweder als Lehrer oder als Liebhaber oder zu seiner eigenen Belehrung beim Studium der Physik, Versuche anstellt, nöthig, die Mittel und Wege zu kennen, auf denen er seinen Zweck sicher erreichen kann, und nicht erst kostspielige vergebliche Anstrengungen machen zu müssen, bis es ihm zuletzt gelingt, die gewünschte Erscheinung hervorzubringen. Ebenso ist es für den Lehrer an weniger bemittelten Anstalten, sowie für den Liebhaber und den Studirenden wichtig, die einfachsten Apparate zu kennen, welche den Zweck noch erreichen, und die Mittel, sich dieselben mit möglichst geringen Kosten zu verschaffen.

In dem oben angeführten Buche habe ich mir nun die Aufgabe gestellt, einerseits Anleitung zur Anstellung physikalischer Versuche zu geben

und alle die Umstände genau aufzuzählen, welche das Gelingen derselben sichern, sowie dasjenige zu erörtern, was bei der Anschaffung und Behandlung der Apparate zu berücksichtigen ist; andererseits aber zu zeigen, wie die meisten Apparate auf billige und zweckmäßige Weise entweder ganz selbst, oder unter Beihülfe eines geschickten Schreiners, Schlossers oder Drechslers angefertigt werden können.

In größeren Städten ist man in dieser letzteren Beziehung nicht in Verlegenheit, allein in kleineren Orten findet man selten Jemand gerade für solche Arbeiten, die dem Experimentator sehr häufig vorkommen; dahin gehören das Löthen kleiner Gegenstände, das Firnissen von Holz, Glas und Metall, das Sprengen, Bohren, Schleifen und Blasen des Glases, wie noch gar viele andere kleine Arbeiten, die man auch manchmal deswegen selbst anfertigen sollte, weil es bei Reparaturen zu umständlich wäre, wegen jeder Kleinigkeit den ganzen Apparat in die Werkstätte des Arbeiters zu bringen, oder gar an den Mechanikus zu senden. Darum war es nöthig, die einfachsten Verfahrungsweisen für die obengenannten und noch manche andere Arbeiten ebenfalls anzugeben. Dem Liebhaber der Physik, der ohnehin seine Apparate gern selbst anfertigt, wird damit, wie ich hoffe, ein wesentlicher Dienst geleistet sein.

In der gegenwärtigen Auflage habe ich jedoch die Anleitung zu diesen Arbeiten, welche früher in vielen einzelnen Theilen gelegenheitlich angebracht war, in einen Abschnitt vereinigt und daraus den ersten Theil des Buches gebildet. Es wurde dadurch möglich, einerseits Wiederholungen sicherer zu vermeiden, andererseits die einzelnen Arbeiten ausführlicher zu behandeln.

Theoretische Erörterung der Naturgesetze habe ich gänzlich umgangen, und die Kenntniß derselben, sowie sie aus jedem größeren Lehrbuche geschöpft werden kann, vorausgesetzt.

In Bezug auf die Ausdehnung des Inhaltes bemerke ich noch, daß solche Versuche nicht aufgenommen wurden, welche nur für einen sehr in's Einzelne gehenden höheren physikalischen Unterricht geeignet sind.

Bei der Anleitung zu den eigentlichen Versuchen, sowie bei der Beschreibung der Apparate wurden zahlreiche Verbesserungen angebracht, theils durch neue einfache Apparate, theils durch genauere Darstellung, theils durch sorgfältiger und deutlicher ausgeführte Zeichnungen. Auch wurde mehr als früher auf zusammengesetztere und elegantere Apparate Rücksicht genommen. Indem ich auf diese Art sowohl einem vielfach ausgesprochenen Wunsche als auch meiner eigenen Ueberzeugung entsprochen habe, glaube ich die Hoffnung hegen zu dürfen, es werde diese neue Auflage eine nicht minder freundliche Aufnahme finden als die erste.

An zahlreichen Abbildungen, ohne welche auch beim besten Willen in einem solchen Buche keine Deutlichkeit zu erreichen wäre, hat es die Verlagshandlung nicht fehlen lassen, und das Buch auf eine ihrer würdige Weise ausgestattet.

Freiburg im Breisgau, im Januar 1856.

Dr. J. Frick.